EIN BEITRAG ZUR KENNTNIS

DER

EKLOGITE UND AMPHIBOLITE

MIT BESONDERER BERÜCKSICHTIGUNG DER

VORKOMMNISSE DES MITTLEREN ÖTZTALES.

INAUGURAL-DISSERTATION

ZUR ERLANGUNG DER

PHILOSOPHISCHEN DOKTORWÜRDE DER HOHEN PHILOSOPHISCHEN FAKULTÄT
(MATHEMATISCH-NATURWISSENSCHAFTLICHE SEKTION) DER UNIVERSITÄT ZÜRICH

VORGELEGT VON

LAURA HEZNER

AUS MÜNCHEN.

BEGUTACHTET VON HERRN PROFESSOR DR. U. GRUBENMANN.

MIT ZWEI TAFELN UND 5 FIGUREN IM TEXT.

WIEN, 1903.

ALFRED HÖLDER,

K. U. K. HOF- UND UNIVERSITÄTS-BUCHHÄNDLER,

I., ROTENTURMSTRASZE 13.

EIN BEITRAG ZUR KENNTNIS

DER

EKLOGITE UND AMPHIBOLITE

MIT BESONDERER BERÜCKSICHTIGUNG DER

VORKOMMNISSE DES MITTLEREN ÖTZTALES.

INAUGURAL-DISSERTATION

ZUR ERLANGUNG DER

PHILOSOPHISCHEN DOKTORWÜRDE DER HOHEN PHILOSOPHISCHEN FAKULTÄT
(MATHEMATISCH-NATURWISSENSCHAFTLICHE SEKTION) DER UNIVERSITÄT ZÜRICH

VORGELEGT VON

LAURA HEZNER

AUS MÜNCHEN.

BEGUTACHTET VON HERRN PROFESSOR **DR. U. GRUBENMANN.**

ACAD. LAUR. BAT. BIBL.

MIT ZWEI TAFELN UND 5 FIGUREN IM TEXT.

WIEN, 1903.

ALFRED HÖLDER,

K. U. K. HOF- UND UNIVERSITÄTS-BUCHHÄNDLER,

I., ROTENTURMSTRASZE 13.

SEPARATABDRUCK AUS »TSCHERMAKS MINERAL. UND PETROGR. MITTEILUNGEN,
HERAUSGEGEBEN VON F. BECKE«, XXII. BAND, 5. u. 6. HEFT.

MEINEM VEREHRTEN LEHRER

HERRN

PROF. DR. U. GRUBENMANN

IN HERZLICHER DANKBARKEIT

GEWIDMET.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41549811_0149

Einleitung.

Die Anregung zu dieser Arbeit wurde durch das Studium der Eklogite und Amphibolite des mittleren Ötztales gegeben. Im Herbste des Jahres 1900 durchwanderte ich auf den Rat meines verehrten Lehrers Prof. Dr. Grubenmann zum erstenmale diesen Teil der Tiroler Zentralalpen und lernte die Vorkommnisse dieser Gesteinsarten bei Umhausen, im Sulztal bei Gries, am Burgstein bei Längenfeld und an der Straße von Aschbach nach Sölden kennen. Auch an den mächtigen Schuttkegeln, welche sich von den Amphibolitgipfeln zu beiden Seiten des Breitlehner Hochtales herunterziehen, wurde studiert und geschlagen. — In den zwei folgenden Herbsten wurden die Exkursionen wiederholt, besonders um die schönen Aufschlüsse, welche durch den Straßenbau zwischen Aschbach und Sölden gegeben waren, nicht unbenutzt zu lassen. Jede der genannten Lokalitäten trägt ein bestimmtes und ganz charakteristisches Gepräge, das sowohl durch eigentümliche Gesteinstypen, als auch hauptsächlich durch die paragenetischen Verhältnisse gegeben ist. Und diese lassen bei näherer Betrachtung schon makroskopisch-genetische Beziehungen durchblicken. So finden sich gewisse sehr interessante Typen von Amphiboliten stets in Gesellschaft von Eklogiten, und zwar so durch Übergänge verbunden, daß an der Entstehung des Amphibolgesteins aus dem Pyroxengestein kaum mehr ein Zweifel bestehen kann. Die an allen Ötztaler Vorkommnissen beobachteten schönen Gesetzmäßigkeiten erweckten in mir ein so intensives Interesse für jene beiden

Gesteinsgruppen, daß ich, begierig die gleichen Typen und die gleiche Metamorphose auch anderwärts zu finden, sowohl durch eigene Anschauung als auch durch Studium der einschlägigen Literatur meine Kenntnis der Eklogite und Amphibolite möglichst zu verallgemeinern suchte. Die hochinteressante Arbeit von F. Schalch: „Die Amphibolite von Blatt Petersthal-Reichenbach der geologischen Spezialkarte von Baden“ (18)[1]) überzeugte mich, daß im Schwarzwald strukturelle Varietäten des Ötztales, zum Teile in vollkommenerer Ausbildung, wiederkehren und ich versagte mir nicht, dieselben durch eigene Anschauung auch im Terrain kennen zu lernen. Aus dem niederösterreichischen Waldviertel standen mir eine große Menge Handstücke und auch Schliffe aus der mineralogisch-petrographischen Sammlung des eidgenössischen Polytechnikums und der Universität in Zürich zur Verfügung. Sie sind zum größten Teil in der klassischen Arbeit von Fr. Becke: „Die Gneisformation des niederösterreichischen Waldviertels“ behandelt und einige hieher gehörige Dünnschliffe verdanke ich der Güte des Herrn Prof. Becke in Wien. Aus der Züricher petrographischen Sammlung erhielt ich ferner Proben aus der Amphibolitregion des Mont Blanc Massivs, einzelnes aus dem Allalingebiet und Norwegen und schöne Handstücke und Schliffe von Eklogiten aus Bayern und vom Jaufenberg in Südtirol; aus dem k. k. Hofmuseum überließ Herr Prof. Berwerth mir freundlichst einige Handstücke, darunter den Eklogit von der Saualpe in Kärnten.

Es ist mir eine liebe Pflicht, den genannten Herren hier auf das herzlichste zu danken, vor allem aber meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Prof. Grubenmann, der mich mit unermüdlicher Hilfsbereitschaft, sowohl durch Rat und Belehrung als auch durch Beschaffung von Material unterstützte. Vielen Dank schulde ich auch Herrn Bodmer-Beder für die Herstellung der Mikrophotographien, welche er mit freundlichem Interesse und Eingehen in meine Intentionen hergestellt hat.

Die Eklogite scheinen das Interesse der Petrographen eine Zeitlang auf lebhafte Weise in Anspruch genommen zu haben, denn während 15 Jahren, zwischen 1871 und 1886, erschienen eine Reihe bedeutender Arbeiten über diese Gesteinsklasse, welche zum Teile ein-

[1]) Die Zahlen hinter Verfassern und Literaturangaben bezeichnen die Nummer des zitierten Werkes im Literaturverzeichnis.

zelne Vorkommnisse behandeln, zum Teile aber auch monographischen Charakter tragen, wie Drasche, Über die mineralogische Zusammensetzung des Eklogits; Riess, Untersuchungen über die Zusammensetzung des Eklogits und Lohmann, Neue Beiträge zur Kenntnis des Eklogits vom mikroskopisch-mineralogischen und archäologischen Standpunkt aus. Seit dem Anfang des letzten Dezenniums des vorigen Jahrhunderts dagegen gab es nur noch einige kleinere Publikationen über Eklogite einzelner Lokalitäten. Im Lehrbuch der Petrographie von Zirkel findet sich pag. 369, Bd. III, ein ausführliches Verzeichnis der hieher gehörigen Literatur bis zum Jahre 1894. Seitdem blieb es bei verstreuten kleineren Notizen. Erst im Herbste 1902 publizierte Jukowsky wieder eine Arbeit über die Eklogite der Aiguilles rouges. Zirkel hat in dem Kapitel seines Lehrbuches über den Eklogit die gesamte vorhandene Literatur auf das sorgfältigste benützt und alles auf diesem Gebiete Errungene in umfassendster Weise dargestellt, während Rosenbusch in dem kurzen Abschnitt über dies Gestein in seinen „Elementen der Gesteinslehre“ den Chemismus aufzuklären und genetische Gesichtspunkte zu geben sucht.

Daß mit den oben genannten Arbeiten dem Verlangen nach Erkenntnis der Eklogite vorläufig genug getan schien, findet sein Recht und seine Erklärung darin, daß sie in Bezug auf die Beschreibung des Gesteins und auf die Erforschung seines Mineralbestandes vollkommen erschöpfend sind. Indessen entbehrt selbstverständlich die optische Diagnose noch vielfach jener Schärfe, welche der heutigen mikroskopischen Technik erreichbar ist. Noch mehr als dies aber berechtigt die vorherrschend genetische Betrachtungsweise, welche der modernen Petrographie eigen ist, auch auf dem Gebiet der Eklogite zu neuer Umschau.

Die Amphibolite erfuhren in der petrographischen Literatur niemals eine monographische Behandlung. Aber zahlreiche Arbeiten über Vorkommnisse einzelner Lokalitäten geben ein ausreichendes Bild der Erscheinungsmodalitäten dieser Gesteinsart. Eine vortreffliche Zusammenfassung alles darüber Bekannten bietet wiederum Zirkel in seinem Lehrbuch der Petrographie (Bd. III, pag. 333) mit einem Anhang der bis zum Jahre 1894 erschienenen Amphibolitliteratur. Dabei war die Arbeit Beckes „Die Gneisformation des niederösterreichischen Waldviertels“ von der allergrößten Bedeutung sowohl für die Erkenntnis der verschiedenen Amphibolitvarietäten nach

ihrem Mineralbestand, worauf bis jetzt die Systematik gegründet wurde, als auch für die Aufklärung der strukturellen Eigentümlichkeiten dieser Gesteine. Überhaupt ist diese Abhandlung eine unerschöpfliche Quelle von Belehrung und ein Beweis dafür, wie weittragend und für die allgemeinsten Gesichtspunkte unseres Wissenszweiges bedeutungsvoll eine vertiefte und gründliche Bearbeitung einer einzelnen Lokalität sein kann. In ähnlicher Weise fruchtbar wirkten Horace B. Patton und Ippen durch ihre Untersuchungen der Amphibolgesteine der Umgegend von Marienbad und des Bachergebietes (siehe Literaturverzeichnis), während Cathrein durch die Auffindung und interessante Darstellung verschiedener Granatpseudomorphosen in Amphiboliten für die Umwandlung und selbst für die Entstehung gewisser Typen wichtige Fingerzeige lieferte.

Das Werk Lehmanns „Untersuchungen über die Entstehung der altkrystallinischen Schiefergesteine mit besonderer Bezugnahme auf das sächsische Granulitgebirge, Erzgebirge, Fichtelgebirge und bayrisch-böhmische Grenzgebirge“ (13) findet bei Zirkel keine Erwähnung. Dennoch enthält es wohl eine der ersten, und zwar eine außerordentlich plastische Darstellung der Entstehung eines Feldspatamphibolits aus einem Gabbro.

Nach dem Jahre 1894 wirkte in hohem Grade fördernd auf die Erkenntnis der Amphibolite R. Schäfer durch seine Untersuchungen „Über die metamorphen Gabbrogesteine des Allalingebietes im Wallis“ (34), in welchen verschiedenartige Umwandlungen von Gabbros, die alle in Amphibolitbildung gipfeln, beschrieben werden. Holland (20) behandelt die Kelyphitfrage an der Hand eines indischen Vorkommnisses von Granatamphibolit, nachdem sie schon früher sowol von Becke als auch von Patton besprochen worden war. Sauer (4) macht mit Amphiboliten aus dem Schwarzwald bekannt, welche zum Teile bis jetzt ganz vereinzelt gefundene Gemengteile, wie Orthit, Bronzit und Gedrit, in reichlichem Maße führen, zum Teile auch Pleonast aufweisen, der noch in keinem Vorkommnis gefunden worden war, obgleich ein Mineral der Spinellgruppe in einem Gesteine, das sehr häufig den Chemismus der Gabbromagmen besitzt, nicht sehr überraschen kann. Last not least sei noch Schalchs schöne Arbeit „Die Amphibolite vom Blatt Petersthal-Reichenbach der geolog. Spezialkarte von Baden“ (18) angeführt. In ihr werden die behandelten Amphibolite nach strukturellen Typen unterschieden und

so der Weg zu einer Einteilung nach Strukturformen gewiesen, die in diesem Falle mit einer genetischen fast gleichbedeutend ist.

Während der Begriff des Eklogits schon von Riess in einer so treffenden Weise festgelegt wurde, daß er fast allgemeine Annahme fand, blieb der des Amphibolits in der Literatur noch lange schwankend. Bei älteren Schriftstellern wird gewöhnlich unter Amphibolit ein reines Amphibolgestein, meist Hornblendeschiefer oder -fels, verstanden, während die Granat-, Feldspat- oder Zoisit-Amphibolite als Amphibolschiefer, Grünsteine, Hornfelse oder dergleichen gehen. Noch bei Zirkel besteht der eigentliche Amphibolit aus Hornblende allein. In der neuesten Zeit scheint sich hauptsächlich durch Rosenbusch die Terminologie der Amphibolite in der Literatur zu konsolidieren. Man trennt die aus einem Amphibolmineral als Hauptgemengteil bestehenden Felsarten, die Hornblendeschiefer, -felse und Aktinolithschiefer von den eigentlichen Amphiboliten, deren wesentliche Bestandmineralien Hornblende und Plagioklas sind, welch letzterer ganz oder teilweise durch Zoisit-Epidot, Granat oder Skapolith vertreten werden kann. Ihre allgemeine Aufnahme verdankt diese Bezeichnungsweise gewiß ihrer genetischen Grundlage, denn die meisten Hornblendeschiefer und -felse, sowie die Strahlsteinschiefer werden von Peridotiten und verwandten Eruptivgesteinen abgeleitet, ein großer Teil der Amphibolite von Gabbros und deren zugehörigen Gang- und Ergußgesteinen.

I. Eklogite.

1. Makroskopischer Habitus.

Alle bedeutenderen Vorkommnisse von Amphibolgesteinen im mittleren Ötztal schließen auch Eklogite ein, die aber ihre schönste Ausbildung am Gamskogl finden, dessen Nordabfall ins Sulztal und dessen Westabfall ins Ötztal geht. Da, wo ersteres in letzteres mündet, liegt das Örtchen Längenfeld. Wenn man von diesem Dorfe aus auf dem südlichen Wege, also links von der Sulztaler Ache, in ihr Tal emporsteigt, kommt man zuerst an gewöhnlichen, granatfreien Amphiboliten vorüber, welche, wie die Sedimentgneise, denen sie in geringer Mächtigkeit eingelagert sind, SO.—NW. streichen und NO. fallen. Mit dem Höhersteigen werden die Aufschlüsse seltener, zeigen aber auf lange hin immer denselben Paragneis. Nachdem die größte Höhe des Weges erreicht ist, wandert man eine längere Strecke durch

Wald, an dessen Ende, kurz vor dem kleinen Weiler Unter-Lehn, die vom Gamskogel gegen Norden abgehenden Wildbäche neben verschiedenen, aber ganz bestimmten Varietäten von Amphiboliten, herrliche Eklogite bringen, meist in großen Blöcken, an welchen sich die Variabilität des Gesteins in bezug auf Korngröße und Mengenverhältnis der Hauptkomponenten gut studieren läßt. In ein und demselben Block kann es vom Grobkörnigen bis zum Feinkörnigen gehen. Der Eklogit des Sulztals ist richtungslos struiert; nur selten zeigt sich eine schwache Andeutung von Schieferung. Eine undeutliche Paralleltextur, die hauptsächlich an den Omphazit geknüpft ist, läßt sich im Schliff nicht verkennen, während sie im Handstück kaum wahrnehmbar wird.

Makroskopisch lassen sich hellroter Granat in rundlichen Körnern und smaragdgrüner Pyroxen in kurzen Säulchen unterscheiden. Immer ist Pyrit ziemlich reichlich eingesprengt und zuweilen erscheint Zoisit in kleinen weißen Flecken. Granat und Pyroxen sind zuweilen so regelmäßig in handbreiten oder schmäleren Lagen angereichert, daß beinahe die Vorstellung von Schichtung erweckt wird. Sehr oft geschieht aber auch die Anreicherung dieser beiden Komponenten in Schlieren oder ganz unregelmäßig in nuß- bis kopfgroßen Flecken. Grobkörnige Stücke sind von schöner Farbenwirkung durch das leuchtende Grün des Pyroxens und das sanft abgetönte Rot des Granats. Die feinerkörnigen Varietäten wirken hellrötlichgrau oder hellgrünlichgrau je nach dem Vorherrschen von Granat oder Pyroxen. Jedoch erscheinen auch bei den grobkörnigen Stücken die einzelnen Hauptbestandteile nicht so scharf getrennt und individualisiert wie bei den Eklogiten des Fichtelgebirges oder der Saualpe; die Korngrenzen haben oft etwas scheinbar verschwimmendes, das Gestein erhält einen quarzitähnlichen Habitus oder einen eigentümlichen feuchten Schimmer, der an Anhydritglanz erinnert. Wenn die Verteilung von Granat und Pyroxen eine gleichmäßige ist, überwiegt in der Regel letzterer an Menge, dagegen kommt es häufiger zur Bildung von fast reinem Granatfels, als zu der von Pyroxenfels. Dem Hammer setzt das Gestein einen großen Widerstand entgegen und bricht splitterig.

Der westliche Ausläufer des Gamskogels, der etwa 200 *m* tief steil ins Ötztal abfällt, heißt der Burgstein. Es ist ein mächtiger Amphibolitklotz, oben durch eine grüne Terrasse abgeschnitten,

welche freundliche Niederlassungen trägt. Ungefähr in der Mitte des Stockes zieht sich gegen Westen eine tiefe Runse herunter, die in einer großen Schutthalde endet. Diese ist ganz aus Blöcken von Amphiboliten und Eklogiten zusammengesetzt. Die Eklogite gleichen denen des Sulztales vollkommen, nur tritt hier in manchen Stücken Disthen als makroskopischer Gemengteil auf, und dann ist das Gesteinsgewebe dicht und durch Anhäufungen von Granat und Pyroxen kleinfleckig. In der Formenentwicklung gleicht der Disthen ganz dem Pyroxen; auch er ist niemals gleichmäßig im Gestein verteilt, sondern tritt in Flecken und unregelmäßigen Adern auf. Wenn man die Runse emporklettert, so gelingt es, disthenfreien Eklogit, also die Sulztaler Varietät, in einem kleinen, aus Schotter und Rasen hervorragenden Köpfchen anstehend zu finden. Das Hangende dieses Eklogits ist ein fein gestreifter Amphibolit. Merkwürdig ist die Variabilität des Gesteins in diesem Felsköpfchen. In einem nicht viel mehr als faustgroßen Stücke wechseln kleine, sich rasch verlierende Schlieren von Eklogit mit solchen von Aktinolithschiefer und von verschiedenen Amphiboliten, ein Beweis für die unzertrennliche Zusammengehörigkeit dieser Gesteine.

Ein wenig nach Süden von diesem Köpfchen, schon auf der Höhe der Burgsteinterrasse, steht in einer kleinen Felswand ein anderer Eklogit an. Bei den bisher erwähnten war die Korngröße von Granat und Pyroxen ziemlich gleich; hier liegen fast erbsengroße Granaten in einer feinkörnigen Pyroxengrundmasse. Dem Eklogit ist eine sehr gebogene Strahlsteinschieferlinse eingelagert. Auch dieser Eklogit ist nicht konstant; er geht fleckenweise in eine später zu beschreibende Varietät von Eklogitamphibolit mit dichter Grundmasse über. Sein Liegendes ist ein feinkörniger Granatamphibolit, derselbe, der auch an der dritten untersuchten Lokalität, an der Straße von Aschbach nach Sölden, stets den Eklogit begleitet. Die Beobachtung, daß Eklogite häufig die zentralen Partien von Amphibolitstöcken bilden, scheint sich am Burgstein zu bestätigen.

An der Straße von Aschbach nach Sölden erstreckt sich am linken Ufer der Ötztaler Ache, an den Ostgehängen des Grieskogls mehrere Kilometer weit eine Amphibolit- und Eklogitzone. Die neugebaute Straße hat durch die ganze Zone frische Aufschlüsse geliefert, so daß ein detailliertes Profil notiert werden konnte. Am

Anfang desselben, da, wo die neue Straße sich in geringer Steigung von der alten abzweigt, fehlen die Eklogite. Es stehen Amphibolite von dioritischem Habitus an, die N.—S. streichen und saiger stehen. Weiter nach Süden ändert sich aber die Streichrichtung im Profile und geht SW.—NO. und stellenweise selbst O.—W., während das Fallen stets steil bleibt, mit einer Neigung nach NW. Da, wo die eklogitischen Gesteine vorherrschen, überwiegt eine so unregelmäßige Klüftung, daß Streichen und Fallen nicht mehr wohl bestimmt werden können. Reine unveränderte Eklogite nehmen im Profil Sölden-Aschbach übrigens einen sehr geringen Raum ein; sie treten in mehreren schmalen Zonen kurz vor und nach dem Engenstein auf, der von dem kleinen Straßentunnel durchbrochen wird und wechsellagern stets mit mittel- und feinkörnigen Granatamphiboliten. Die Söldener Eklogite sind von mittlerem oder feinem Korn und zeichnen sich durch die gleichmäßige Verteilung von Granat und Pyroxen aus. In einem an der alten Straße vorkommenden Eklogit sind sowohl Granat als Omphazit in rundlichen Häufchen aggregiert. Nur hier und da reichert sich der Granat so stark an, daß granatfelsartige Stellen entstehen. Dieselben unterscheiden sich von den granatreichen Abzweigungen der Eklogite des Sulztales und des Burgsteins durch das vollständige Fehlen von Pyroxen. Dagegen haben sie viel Quarz und etwas grüne Hornblende, so daß ihr Zusammenhang mit den Eklogiten zweifelhaft bleibt. Pyrit ist überall reichlich eingesprengt. Auch hier nimmt der Eklogit wieder die zentralen Partien des Vorkommnisses ein.

Im mikroskopischen Bilde (Tafel IV, Fig. 1) unterscheiden sich die Eklogite der drei studierten Ötztaler Lokalitäten viel weniger als im makroskopischen. Überhaupt ist die strukturelle Gleichmäßigkeit dieser Gesteinsart bei außerordentlichem Wechsel im Mengenverhältnis der Komponenten und in der Art der Akzessorien charakteristisch für dieselbe. Beim Vergleich der Eklogite des Fichtelgebirges und der Saualpe mit denen des Ötztales fällt sofort die Gleichartigkeit in der Formenentwicklung der Mineralkomponenten und in der Art ihres Verbundenseins, also in Struktur und Textur, auf. Bei || Nikols ist das Gesichtsfeld stets von den meist richtungslos angeordneten, größeren oder kleineren, farblosen, länglichen Körnern des Pyroxens erfüllt, zwischen welchen sich zuweilen ein rundlicher Granat kräftig erhebt oder ein tiefbraunes Rutilkorn oder seltener

grüne Hornblende hervortritt. In der ganzen mir bekannten Eklogitliteratur werden diese Gesteine fast nur als richtungslos körnige beschrieben, zuweilen mit porphyroidem Charakter. Selten wird eine schwache Schieferung angegeben und nur einmal bei Sauer und Schalch (4) „deutlich geschichtete Eklogite durch lagenweise Anreicherung von Omphazit oder Zoisit".

2. Mineralbestand.

Die einfachsten, von jeder Umwandlung freien Eklogite vom Sulztal bestehen fast nur aus Pyroxen und Granat mit wenig Pyrit, Rutil, Titaneisen, Zoisit und Epidot. Überhaupt ist der Mineralbestand der Ötztaler Eklogite relativ wenig mannigfaltig. Unter den von Riess und andern festgestellten Akzessorien des Gesteins: Hornblende, Glaukophan, Plagioklas, Quarz, Karbonat, Disthen, Zoisit, Epidot, Biotit, Muskovit, Apatit, Zirkon, Rutil, Titanit, Magnetit, Pyrit, Magnetkies und Eisenglimmer fehlen Glaukophan, Titanit, Zirkon, Apatit, Magnetkies und Eisenglimmer vollständig, Plagioklas, Quarz und Muskovit nehmen wo sie vorkommen, einen so minimalen Raum ein, daß sie den Gesteinscharakter kaum berühren. Biotit und Epidot können sich gelegentlich anreichern, zuweilen aber auch ganz fehlen; ähnlich der Disthen, der an wenigen Stellen, dann aber reichlich, auftritt. Der Gehalt an Hornblende wächst stets mit fortschreitender Metamorphose des Eklogits. Ganz konstante Akzessorien sind nur Rutil, Magnetit und Pyrit. Wo Karbonat erscheint, ist es stets Verwitterungsprodukt.

a) Der Omphazit.

Der Pyroxen der Ötztaler Eklogite ist der hell smaragdgrüne, welcher unter dem Namen Omphazit bekannt ist. Dieser gilt bei manchen Schriftstellern, z. B. Drasche, Duparc, als Diopsid, bei den meisten als tonerdereicher Augit. Die Entwicklungsgeschichte des Begriffes Omphazit ist bei Riess (1) gegeben. Die bis jetzt vorhandenen Analysen des Minerals ergaben einen Tonerdegehalt von 1·28—10·90%. Eine französische Analyse gibt nach Zirkel 14·25% Al_2O_3. Der Omphazit der Ötztaler Eklogite gehört zu den tonerdereichsten und fällt daneben durch seinen hohen Alkaligehalt (gegen 5%) auf, der sich bei keinem anderen Omphazit wiederfindet. Das Maximum an Alkalien wurde bisher in einer durch Ippen (10) gegebenen

Analyse mit 3% erreicht. Die Analyse, welche von mir im Laboratorium des mineralogisch-petrographischen Instituts des eidgenössischen Polytechnikums in Zürich ausgeführt wurde, betraf den Omphazit eines mittelkörnigen Eklogits aus der Schutthalde am Burgstein von so einfacher Zusammensetzung, wie die Sulztaler Eklogite, der fast nur aus Pyroxen, Granat, Rutil und Erz bestand. Zur Gewinnung des Omphazits wurde das Gestein im Stahlmörser zerkleinert und nachher geschlämmt. Dann wurde das Mineral mittels der Westienschen Lupe mit einer Pinzette herausgelesen, wobei die Trennung vom Granat wegen der großen Farbendifferenz leicht vonstatten ging. Dagegen zeigte sich bei der mikroskopischen Prüfung des ausgelesenen Materials, daß es noch ziemlich viel Rutil, Quarz und Erz enthielt, welche als Einschlüsse im Omphazit reichlich auftreten. Nach mehrmals wiederholter Auslese erwies sich der Pyroxen auch mikroskopisch rein, doch mag immerhin noch ein Teil des kleinen Titansäuregehaltes, den die Analyse ergab, von ganz minimalen Rutileinschlüssen herrühren, wie wohl auch die absolute Reinigung von Quarz nicht durchführbar war. Das Resultat der Analyse war folgendes:

	I.				II.
	Aufschluß mit Soda	Aufschluß mit Flußsäure		Mittel	Aus der Formel berechnet
SiO_2	54·21			54·21	53·91
TiO_2	0·47	0·44		0·46	
Al_2O_3	10·93	10·88		10·91	14·03
Fe_2O_3	3·18	3·05		3·12	14·43
FeO			1·33	1·33	1·39
CaO	14·58	14·64		14·61	15·18
MgO	10·00	10·07		10·03	10·18
K_2O		0·92		0·92	5·43
Na_2O		4·51		4·51	5·05
H_2O unter 110°			0·05	0·05	
H_2O über 110°					
				100·15	100·14

Spezifisches Gewicht: 3·33

Aus der Analyse berechnete Formel $7\,(NaK)Al(SiO_3)_2$
$3\,(Mg\,Fe)(Al\,Fe)_2\,SiO_6$
$28\,(Ca\,Mg\,Na_2)(SiO_3)_2$

Die aus der Formel berechnete prozentuale Zusammensetzung des Omphazits ist unter II. angegeben.

Die optische Bestimmung des Omphazits erstreckt sich in der Literatur nicht weiter, als bis zur Feststellung der prismatischen Spaltbarkeit mit dem Kreuzungswinkel der Spaltrisse von 87° auf Querschnitten und einer allgemeinen Messung der Auslöschungsschiefe von 35—45°.

Ippen (10) bestimmt die Auslöschungsschiefe der Omphazite des Bachergebietes auf 37° im Minimum und 45° im Maximum, ohne nähere Angabe der Flächen und Richtungen. Jukowsky (21) mißt die maximale Auslöschungsschiefe der Pyroxene aus den Eklogiten der Aiguilles rouges auf (010) zu 44—45° und gibt die Doppelbrechung $n_g - n_p = 0{\cdot}0249$ an. Deswegen und wegen der relativen Kleinheit des optischen Achsenwinkels rechnet er diesen Pyroxen zum Diopsid, trotz seines Tonerdegehaltes von 5%. Auch die Auslöschungsschiefe ist indessen für Diopsid zu groß. Wahrscheinlich sind seine Omphazite, so gut wie die des Ötztales, keine reinen Glieder der Pyroxenreihe. Ihre Doppelbrechung stimmt mit der der am stärksten doppelbrechenden Omphazite des Sulztaler Vorkommens überein, ihre Auslöschungsschiefe ist etwas größer. Die chemischen Differenzen der beiden Pyroxene sind weit bedeutender als die optischen. Der Eisengehalt der Ötztaler bleibt weit hinter dem der Aiguilles rouges zurück, während für den Thonerdegehalt das Umgekehrte stattfindet. Sehr zu bedauern ist es, daß Jukowsky versäumt hat, auf Alkalien zu prüfen, um so mehr, da der Alkaligehalt des Pyroxens den springenden Punkt seiner Hypothese über die Umwandlung der Eklogite in Amphibolite berührt. Die Summe der Prozentzahlen seiner Analysen geht zwar im einen Fall über 100 hinaus, im andern steigt sie über 99·45, so daß der Alkaligehalt, wenn überhaupt vorhanden, nur sehr klein sein kann.

Interessant ist, daß die Pyroxene der Eklogite der Aiguilles rouges die sehr feine, orthopinakoidale Spaltbarkeit des Diallages zeigen.

Beim Omphazit der Ötztaler Eklogite ist die prismatische Spaltbarkeit meist scharf entwickelt, doch fehlt sie bei einigen Schliffen fast ganz. Dieselbe Bemerkung machte Lohmann bei der Untersuchung einiger Eklogitbeilchen. Neben der Spaltbarkeit wurden früher fast nur noch Form und Farbe festgestellt. Die Form wird

überall ganz übereinstimmend als unselbständig mit stark prismatischer Tendenz angegeben.[1]) Dies trifft im allgemeinen auch für alle Ötztaler Eklogite zu; gewöhnlich ist ihre Gestalt länglich-körnig und ziemlich ganzrandig, wobei aber der Rand keine Krystallfläche bedeutet. Doch ist gar nicht selten, daß die Seitenflächen gut krystallographisch entwickelt sind und bei einigen Präparaten von Eklogiten des Burgsteins macht sich eine starke Annäherung an ganz idioblastische Formen geltend. Dabei liegen die Körner nach ihrer Längserstreckung oft annähernd parallel. Die Korngröße des Omphazits ist bei grob- und bei feinkörnigen Varietäten meist recht gleichmäßig. Nur da, wo sich mechanische Einwirkungen geltend machten, erscheint zuweilen ein Kranz kleiner Splitter um ein größeres Individuum, so bei einem Vorkommnis aus dem Sulztal.[2]) Manchmal, jedoch nur bei wenigen Vorkommnissen (am Burgstein), liegt hier und da ein großes Omphazitkorn wie in einer Grundmasse von kleineren mit gleichmäßiger Größe und trümmerartigem Habitus. Dieses einsprenglingsartige Individuum ist dann gewöhnlich stärker angegriffen als die übrigen und bedeutet vielleicht einen Rest, welcher von der Einwirkung jener bei den gebirgsbildenden Prozessen tätigen Kräfte, die die Mineralkomponenten so vieler krystalliner Schiefer auf gleiche Größe bringen, verschont geblieben ist (43). Die Farbe des Omphazits der Ötztaler Eklogite ist gewöhnlich heller oder tiefer smaragdgrün, jedoch auch manchmal graugrün. Sie wechselt nicht selten in demselben Vorkommnis, so daß die matter gefärbten Pyroxene den lebhafter farbigen zwischengestreut sind. Doch herrscht in demselben Gestein meist eine bestimmte Farbnuance vor. Mit dieser Farbendifferenz ist, wie wir sehen werden, ein Wechsel in der Auslöschungsschiefe und Doppelbrechung verbunden, der sich gewiß auf chemische Verschiedenheit gründet. In der Literatur wird der Omphazit gewöhnlich lauch-, gras- oder smaragdgrün genannt, doch wird auch von blaugrünen, gelbgrünen, gelblichen und bei einem

[1]) Traube („Über ein Vorkommen des Eklogits bei Frankenstein in Schlesien", Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Krystallographie, 1889, II) erwähnt 5—6 *cm* weit reichende Omphazite, die zu einem Individuum zu gehören scheinen, weil sie gleich orientiert sind, ganz von Granatadern durchsetzt.

[2]) Am Burgstein zeigen die disthenführenden Eklogite eine vollkommene Trümmerstruktur, welche durch die ganz zersplitterten Omphazite hervorgebracht wird. Größere Körner sind nesterweise erhalten.

Schwarzwälder Eklogit sogar von weißlichem Omphazit gesprochen. Unter dem Mikroskop erscheint er meist farblos oder nur mit einem Stich ins grüne. Von Riess wird ein dunkler Omphazit mit merklichem Pleochroismus erwähnt.

Die verschiedenen Nuancen des Grüns bei den Omphaziten der untersuchten Eklogite legten, wie wir gesehen haben, die Vermutung nahe, es möchte sich dabei nicht um einen Pyroxen von ganz einheitlicher Natur handeln. Die Doppelbrechung erweist sich nun auch als verschieden, nicht nur bei den Vorkommnissen einer Lokalität, sondern so, daß in demselben Schliff Omphazitkörner von verschiedener Doppelbrechung auftreten, wenn auch gewöhnlich eine Art vorherrscht. Zur Messung wurden stets Schnitte benützt, welche sich sehr dem seitlichen Pinakoid nähern, wo also $\gamma—\alpha$ ziemlich rein erscheint. Bei gleicher Schliffdicke zeigten die am schwächsten doppelbrechenden Omphazite das Orangegelb erster Ordnung, die am stärksten doppelbrechenden das Blaugrün bis Gelbgrün zweiter Ordnung. Dies entspricht bei den ersteren einer Doppelbrechung $\gamma—\alpha$ von 0·016, bei den letzteren von 0·025. Ein mittlerer Typus hatte $\gamma—\alpha$ 0·020.[1])

Die Doppelbrechung der Pyroxene mit den niedrigsten Interferenzfarben sinkt also noch ziemlich bedeutend unter die des gewöhnlichen Augits hinab, die der Omphazite von mittlerer Höhe der chromatischen Polarisation kommt der des Augits gleich. Die höchste Doppelbrechung nähert sich der des Diopsids und eignet den Omphaziten, welche die leuchtendste grüne Eigenfarbe haben, während die graugrünen die am schwächsten doppelbrechenden sind. Die drei Bestimmungen beziehen sich aber nicht auf festbegrenzte Arten, sondern sind herausgegriffene Typen. Es handelt sich bei den Omphaziten der Ötztaler Eklogite, wie auch aus der aus der Analyse berechneten Formel hervorgeht, eben um isomorphe Mischungen gewisser Pyroxenmolekeln.

Für die Feststellung der Auslöschungsschiefe war es nicht möglich, Spaltblättchen von bestimmter Lage zu gewinnen. Ebensowenig konnte der Austritt einer optischen Normalen bei allen Arten konstatiert werden. Zur Messung wurden daher lauter solche Schnitte

[1]) Die Bestimmung dieser Größen geschah mit Hilfe der dem vortrefflichen Weinschenkschen Werkchen: „Die gesteinsbildenden Mineralien“ angehängten Tabelle.

ausgewählt, welche durch die Höhe ihrer Interferenzfarbe und dadurch, daß im konvergenten Licht kein oder nur ein ganz verschwindender Schatten der optischen Achsenebene erschien, eine bedeutende Annäherung an die Fläche (010) sicher machten. Die große Anzahl der Messungen sollte die Unbestimmtheit der einzelnen kompensieren.

Die Auslöschungsschiefen $c:c$ der Omphazite mit schwächster Doppelbrechung auf (010) ergaben folgende Zahlen:

45°, 47°, 42°, 40°, 42°, 44°, 41°, 48°, 48°, 46°, 47°, $\Sigma 485:12=44{\cdot}05°$.

Also Mittel etwa 44°.

Für die Omphazite mit mittlerer Doppelbrechung wurden erhalten:

40°, 42°, 42°, 39°, 40°, 41°, 45°, 40°, 40°, 38°, 39°. $\Sigma 446:11=40{\cdot}55°$.

Mittel etwa 41°.

Hier gelang es, den Austritt einer optischen Normalen zu finden. Der Schnitt ergab $c:c=41°$ Auslöschungsschiefe.

Für die Omphazite mit stärkster Doppelbrechung:

40°, 43°, 42°, 38°, 37°, 43°, 40°, 39°, 41°. $\Sigma 363:9=40{\cdot}33$.

Mittel etwa 40°.

Die Analyse des Omphazits betraf eine leuchtend grüne Varietät, für welche also die maximale Auslöschungsschiefe von 40° festgestellt wurde. Dies würde nach der Wiikschen Tabelle (31), welche den Zusammenhang der Abweichung des krystallographischen c vom optischen c mit dem Eisenoxydulgehalt der Pyroxene darstellt, einen Gehalt von etwa 2—3% FeO bedeuten. Das Analysenresultat ergab aber den geringeren FeO-Gehalt von 1·33%, eine Abweichung, welche indessen innerhalb der Grenzen der möglichen Variationen bleibt, wie der Vergleich anderer Posten der Tabelle zeigt. Die Dispersion des Omphazits, an der graugrünen Varietät bestimmt, war $\rho > v$. $2V = 66°$, 68° und 72°.

Die Spuren mechanischer Beeinflussung der Eklogite zeigen sich besonders am Omphazit und sind wenigstens bei den Ötztaler Vorkommnissen durchaus nicht selten. Am wenigsten treten sie bei den Varietäten mit Omphaziten von selbständiger Gestalt auf. Sind diese formlos entwickelt, von länglich-körniger Gestalt, jedoch ganz randig und frisch und von gleichmäßiger Korngröße, wie das gewöhnlich der Fall ist, dann zeigen sich nur vereinzelte und schwache Spuren von undulöser Auslöschung. Haben die Omphazite eines Vor-

kommnisses ungleiches Korn und gebuchtete oder gezackte Ränder, dann ist auch die undulöse Auslöschung häufig und deutlich, ja es ist zu Knickungen, Verschiebungen und zu vollständiger Zertrümmerung gekommen. In einem Eklogit von Gries wurde an den Pyroxenen sehr reichlich polysynthetische Zwillingsbildung nach (100) beobachtet, die ganz den Charakter von Zwillingsbildung durch Druck trägt. Die Lamellen sind nie klar und scharf, sondern verschwimmend und sich verlierend. Sehr häufig sind sie verbogen und oft von Spaltrissen oder Absonderungsrissen eingerahmt, während bei den nicht lamellierten Omphaziten desselben Schliffes die Spaltbarkeit kaum fühlbar wird. O. Mügge (45) beschreibt künstliche Druckzwillinge am Diopsid, meist nach 001, doch daneben auch solche nach dem vorderen Pinakoid und Rosenbusch (39) spricht von „durchgängiger polysynthetischer Zwillingsbildung nach 100“ bei den Pyroxen eines Pyroxengneises, die in Dünne und Zahl der Zwillingslamellierung keinem Plagioklas nachsteht. Sehr schön läßt sich bei den disthenführenden Eklogiten des Burgsteins beobachten, wie durch den Druck der Gebirgsbildung die Spaltrisse weiter und klaffender gemacht worden sind. An manchen Individuen klaffen die Spaltrisse an einem Ende weit auseinander, so daß besenartige Formen entstehen.

Der Omphazit hat häufig einen Rand von geringerer Doppelbrechung als der Kern. Dabei bleibt die Auslöschungsschiefe von Rand und Zentrum manchmal dieselbe, manchmal zeigt ersterer eine bis 5 oder 6° größere Auslöschungsschiefe. Nicht selten löscht nur ein Teil des Randes, etwa eine oder zwei Seiten anders aus als die Kernmitte. An ganz frischen ganzrandigen Individuen fehlt diese äußere Zone in der Regel; es scheint also nicht Zonarstruktur vorzuliegen, sondern eine beginnende randliche Umwandlung. Die Randzone zeigt an vielen Stellen graue, wolkige Flecken, die vielfach die Omphazite ganz umgeben. In manchen Schliffen fehlt die graue Zone um kein Korn, in manchen häufen sich die umrandeten Individuen scharen- oder fleckenweise oder es wechselt die Breite des wolkigen Randes nach Stellen. In sehr wenigen Eklogiten des Ötztales fehlt diese Erscheinung ganz und im allgemeinen bleibt ihr Entwicklungsgrad in demselben Vorkommnis konstant.

Die stärksten Vergrößerungen lassen die wolkige Zone als sehr feine Fasern erkennen, welche meist normal zum Omphazitrand stehen, nicht selten jedoch sich auch strauchartig oder eisblumen-

artig verzweigen.[1]) Sie optisch scharf zu fassen, ist bei ihrer feinen Entwicklung unmöglich. Ihre Doppelbrechung ist geringer, als die des Pyroxens; ihre Lichtbrechung ungefähr dieselbe. Bei dem porphyrartigen Eklogit vom Burgstein kann man beobachten, wie von den Omphazitkörnern dünne Fasern oder Zapfen, die aber deutlich noch demselben Mineral angehören, in die graue Masse hineinragen[2]), so daß eine feine Faserdurchdringung entsteht[3]), die sich offenbar ganz auf Kosten des Omphazits entwickelt, denn je breiter die Faserzone wird, desto kleiner wird das intakte Pyroxenkorn. Von den Grenzen zweier benachbarter Omphazite aus wachsen die Fasern einander entgegen und da, wo sie zusammenstoßen, also an der präsumptiven früheren Korngrenze, vergröbern sie sich manchmal so, daß sie mit Anwendung der stärksten Objektive faßbar werden und sich als gewöhnliche grüne Hornblende bestimmen lassen. Es liegt also eine Umwandlung des Omphazits in Hornblende vor, deren erstes Stadium die Entstehung einer schwächer doppelbrechenden Zone um das Pyroxenmineral ist. Das zweite Stadium besteht in einer feinen Ausfaserung dieser Zone, womit die Amphibolitisierung des Omphazites Hand in Hand geht, worüber später mehr. Anfang der Ausfaserung auf Tafel IV, Fig. 1.

Der randliche Übergang von Omphazit in faserige grüne Hornblende ist, wie es scheint, eine sehr allgemeine Erscheinung bei den Eklogiten. Sie wurde von mir in schwacher Ausbildung auch an den meisten Eklogiten des Fichtelgebirges beobachtet und sehr schön in weit fortgeschrittenem Stadium an dem Gestein von der Saualpe in Kärnten. Dasselbe stellt schon einen Übergang zum Eklogit-Amphibolit dar. Die aus dem Omphazitkörper herauswachsenden Fasern sind hier viel gröber und darum mikroskopisch leichter zu bestimmen. Ganz am Omphazitkorn sind die Fasern am feinsten und scheinen zum Teile noch aus Pyroxensubstanz zu bestehen. Dann werden sie gröber und deutlich zu grüner Hornblende. Dabei ist die Längs-

[1]) Die Fasern sind gewöhnlich da, wo sie dem Pyroxenkorn entspringen, am feinsten und vergröbern sich proportional der Entfernung von demselben.

[2]) Merkwürdig ist, daß zuweilen auch die Grenze des Omphazits gegen die Faserung ganz scharf ist.

[3]) Wegen der extremen Feinheit dieser Mineralverwachsung, die keine optische Bestimmung gestattet, wurde von Becke der Name kryptodiablastische Struktur dafür gewählt.

richtung des einzelnen Stengelchens nicht ‖ c, denn sehr oft durchscheidet die prismatische Spaltbarkeit es senkrecht und hält dabei die Lage der Spaltrisse im zugehörigen Omphazitkorn ein. Mit der eigentümlichen Erscheinung der Ausfransung der Pyroxene bilden Dölter und Hussaks Versuche (44) ein interessantes Analogon). Beim Eintauchen von Diopsid in den Schmelzfluß war die erste Veränderung, welche an dem Mineral beobachtet werden konnte, randliche Verfaserung, wobei die braunen Fasern vom Rande gegen die Mitte ragen und die Risse durchsetzen. Augit verwandelte sich unter denselben Bedingungen in ein Aggregat winziger lichtbrauner Körner, das auf polarisiertes Licht schwach reagiert, aber einheitlich auslöscht. Am Rande des Gekörnels zeigten sich neugebildete, aus dem Magma stammende Augitnadeln. Hypersthen zeigte in eine Schmelzmasse eingetaucht randliche Zerkörnelung. Grüne Hornblende ging in ein parallelfaseriges Aggregat von Augitsäulchen unter Ausscheidung von Magnetit über.

In der Literatur wird die randliche Zerfaserung der Omphazite zuerst von Lohmann (3) erwähnt. Er fand sie bei norwegischen und korsikanischen Eklogiten und bei Beilchen von unbekannter Herkunft. Lacroix (12) gibt eine sehr schöne, anschauliche Beschreibung der Erscheinung, bei einem Eklogit von der unteren Loire allerdings ein weiter fortgeschrittenes Stadium wohl schon eines Eklogit-Amphibolit ebenso wie bei den in derselben Arbeit beschriebenen „Eklogiten“ von Finisterre. Interessant ist, dass die begleitenden Amphibolitvarietäten offenbar ganz dieselben sind wie im Ötztal. Dasselbe gilt für die von Holland (34) beschriebenen indischen Eklogite. Nach Traube (5) geht der Omphazit im Eklogit von Frankenstein in filzige Massen über, welche er für Serpentin hält, die aber wahrscheinlich nichts als die beschriebene Zerfaserung bedeuten.[1])

[1]) Durch Herrn Bodmer-Beder hatte ich Gelegenheit, Jadeit- und Chloromelanitbeilchen schweizerischer Fundorte (Bieler- und Zugersee) mikroskopisch zu studieren. Dieser Jadeit zeigt die auffallendste strukturelle Ähnlichkeit mit den Eklogiten des Ötztales, so daß er vollkommen das mikroskopische Bild eines sehr granatarmen Eklogits bietet. Die Form des Pyroxens, Art der Kataklase und auch die optischen Merkmale der beiden Mineralien, Auslöschungsschiefe bis 42°, Doppelbrechung von gleicher Höhe, unterscheiden sich kaum voneinander. Dazu treten überall die Anfänge randlicher Zerfaserung mit Übergang in Hornblende. Die Chloromelanite (chem. eisen- und kalkreicher) sind einfach weiter fortgeschrittene Stadien der Zerfaserung und Amphibolisierung. (Siehe Bodmer-Beder (31).)

Schon Riess (1) betonte die auffallende Einschlußarmut des Omphazits. Sie ist auch in den Ötztaler Eklogiten diesem Mineral eigen. Die in der Literatur (Riess, Zirkel u. a.) erwähnten Omphaziteinschlüsse Granat, Quarz, Rutil und Erze treten auch hier auf. Nur der von Riess erwähnte „Smaragdit in kleinen Säulchen" wurde nicht gefunden. Dagegen halten jene früher erwähnten großen, unfrischen, einsprenglingsartigen Pyroxene zuweilen kleinere und frischere Omphazite eingeschlossen.

Der Omphazit ist neben dem Granat dasjenige Mineral, an welches der Begriff des Eklogits geknüpft wird, dessen negatives Kriterium das Fehlen von Feldspat sein soll.

Becke (6) beschreibt in der „Gneisformation des Niederösterreichischen Waldviertels" ein Gestein vom „Winkler", das fast nur aus Granat und einem diallagartigen Pyroxen besteht, der sich dem Omphazit insofern nähert, als die Absonderung nach 100 minder deutlich ist. Becke bezeichnet das Gestein als Eklogit, hält sich also hier gewiß mit Recht nicht an die strenge Definition des Begriffes.

Ein ähnliches Gestein, dessen Schliff ich der Güte von Prof. Becke verdanke, der es auch beschrieb, stammt vom Schauerstein [1]) (Waldviertel). Hauptgemengteil ist neben Granat ein meergrüner Pyroxen mit undeutlicher Querabsonderung. Er ist kurzsäulig entwickelt, ohne krystallographische Begrenzung, ganz wie die Diallage der Gabbro. Kataklastische Phänomene sind sehr reichlich vorhanden: Die Spaltrisse sind gebogen. Die Körner löschen undulös aus, größere Individuen sind randlich zertrümmert, stellenweise sogar vollständig. Der Diallag geht von Spaltrissen aus, oder fleckenweise, in braune Hornblende über; in einigen Komplexen des Schliffes ist er schon ganz durch das Amphibolmineral ersetzt. Der rötliche Granat erscheint in rundlichen Körnern, die durch viele und große Einschlüsse von Pyroxen und Plagioklas ganz durchlöchert aussehen. Auch als Füllmasse zwischen den Hauptkomponenten tritt Plagioklas reichlich auf. Akzessorien sind Magnetit, Quarz, Apatit, Zoisit. Auch dies Gestein fällt nicht scharf unter die Definition des Begriffes Eklogit nach Riess. Aber seine Übereinstimmungen mit typischen Eklogiten der ganzen Erscheinungsweise und auch im Mineralbestand

[1]) Becke stellt dies Gestein unter die Diallagamphibolite.

ist doch so groß, daß seine Trennung davon ein unnatürliches Auseinanderreißen wäre. Vielleicht ist es ratsam, den Begriff Eklogit so zu formulieren, daß darunter ein Lagergestein verstanden wird, dessen Hauptgemengteile Granat und ein monosymmetrischer Pyroxen sind. Der Plagioklas müßte dann nicht fehlen, sondern könnte als Akzessorium sogar reichlich vorhanden sein.

Neben dem Übergang von Pyroxen in Hornblende durch Zerfaserung wird in manchen Eklogiten noch eine andere Art der Amphibolisierung beobachtet, die, wenn auch nicht immer im strengsten Sinne, unter den Begriff der Uralitisierung fällt, sofern man mit diesem in der Literatur etwas schwankenden Begriff den Übergang von Pyroxen in Hornblende unter Erhaltung seiner Form versteht. Zuweilen, z. B. in manchen Eklogit-Amphiboliten des Ötztals, kommen beide Übergangsformen in Hornblende nebeneinander vor. Der Übergang durch Zerfaserung und der mit Erhaltung der Form, die Uralitisierung, beginnt manchmal, doch nicht meistens, von den Spaltrissen aus. Sehr oft setzt sie auch an einem beliebigen, dem Rande genäherten Punkte des Pyroxens ein. Es erscheinen im mikroskopischen Bilde kleine Flecken oder Striemen innerhalb der gut erhaltenen Umgrenzung des Minerals hornblendisiert.

Im Fortgang der Umwandlung wird der ganze Pyroxen vom Amphibol verdrängt, wobei freilich, wenn der Vorgang mit Kristallisationsschieferung verbunden ist, die Form des Pyroxens mehr oder weniger modifiziert werden kann. Beispiele dieser Umwandlungsart sind die Eklogite von Jaufenberg bei St. Leonhard in Tirol, von Greifendorf in Sachsen und vom Schauerstein im niederösterreichischen Waldviertel.

Das Gestein vom Jaufenberg ist ein schöner, ziemlich grobkörniger Eklogit. Die rundlichen, durchaus „alloblastischen“ Granaten sind ganz durchsetzt von Einschlüssen von Pyroxen, Hornblende und Epidot. Zwischen den Granaten liegen die Aggregate kurzsäuligen Omphazits mit beginnender und stellenweise sogar vollendeter Uralitisierung. Daneben hat sich viel Karbonat und Epidot ausgeschieden. Der Omphazit löscht mit $c : c$ 43° auf (010) aus. Die Hornblende ist die gewöhnliche grüne. Sie geht vielfach in einen braunen, stark pleochroitischen Glimmer mit sehr kleinem Achsenwinkel über. Zu bemerken ist, daß von den Titanmineralien hier im Gegensatz zu allen anderen mir bekannten Eklogiten, außer dem von Greifendorf,

nur Titanit in rundlichen Knollen vorhanden ist, während der Rutil ganz fehlt. Magneteisen ist durch das ganze Gestein verstreut.

Der Eklogit von Greifendorf hat braunen Pyroxen in gedrungenen Säulen von etwas diallagartigem Habitus, doch ohne sehr deutliche Absonderung nach (100). Das Mineral ist von merklichem, wenn auch nicht sehr ausgesprochenem Trichroismus; braun || b, blaßbräunlich || a und bräunlichgelb || c. Die Auslöschungsschiefe auf (010) c : c beträgt 39°. Der Pyroxen geht in uralitische braune Hornblende über, die im Kontakt mit den rundlichen einschlußarmen Granatkörnern grünlich wird. Kleine gestreifte Feldspäte sind überall zwischengeklemmt, deren Auslöschungsschiefe bei symmetrischen Zwillingen durch eine Reihe von Messungen 9—12° ergab. Danach gehört der Plagioklas zum Oligoklas-Andesin. Körner von Magneteisen sind eingestreut. Titanit und Rutil fehlen. Der Eklogit von Schauerstein wurde schon pag. 18 beschrieben.

Auch die Omphazite in den Eklogiten der Aiguilles rouges sind nach Jukowsky (21) im Uralitisierungsprozeß begriffen, der stellenweise schon zur vollkommenen Amphibolitisierung des Pyroxens geführt zu haben scheint. Jukowsky vermutet, daß der Vorgang durch Infiltration von Granulit veranlaßt worden ist, hauptsächlich darum, weil der Omphazit alkalifrei ist, während die sich entwickelnde Hornblende Alkalien enthält. Wir haben aber schon gesehen, daß der Autor den positiven Beweis für die Alkalifreiheit seines Pyroxens nicht erbracht hat. Außerdem ist die Uralitisierung der Pyroxene eine viel zu häufige Erscheinung, als daß die Infiltration eines sauren Magmas sie wahrscheinlicherweise begründete. Wenn man in der neueren Literatur die Beschreibungen von Gabbro der verschiedensten Lokalitäten durchgeht, findet man fast überall wenigstens die Anfänge von Uralitisierung der Pyroxene erwähnt. Dies Mineral scheint eben nur in großer Tiefe stabil zu sein und verfällt dem Übergang in Hornblende, sobald es in höhere Lagen versetzt wird.

Unzweifelhaft primäre Hornblende ist in keinem der von mir studierten Eklogite gefunden worden. Der Chemismus des Umwandlungsproduktes und des Umgewandelten stimmen aber nach den Analysen keineswegs überein, so daß es sich nicht um einfache Paramorphose handeln kann. Wir werden darauf später noch zurückkommen.

Welche Art der Hornblendisierung des Pyroxens eintritt, ob Uralitisierung oder Übergang mit Zerfaserung, scheint weniger von der Tiefenstufe der Umbildung, als vom herrschenden Druck abzuhängen. Eigentliche Uralitisierung mit vollständiger Erhaltung der Pyroxenform setzt wohl statische oder hydrostatische Massenzustände voraus. Umformung mit Parallelordnung und Streckung der Körner ist das Resultat von Krystallisationsschieferung, wobei Ausweichen in einer oder in zwei Richtungen möglich ist. Wenn der mittlere Druck sich dem stärksten so sehr nähert, daß weder nach einer noch nach zwei Richtungen ein Ausweichen möglich ist, dann entsteht faseriges Gefüge (43), in unserem Falle also die Zerfaserung der Pyroxene.

b) Der Granat.

In der Eklogitliteratur wird der Granat als ein fast stets gut krystallographisch begrenztes Mineral geschildert mit vorherrschender Entwicklung des Rhombendodekaëders.[1]) Dies trifft für die Ötztaler Vorkommnisse nicht überall zu. Ein großer Teil der Eklogite aller drei Lokalitäten hat den Granat nur in der Form rundlicher Körner, ja dies gilt sogar für die Mehrzahl der reinen, unveränderten Eklogite. In einigen Blöcken aus dem Sulztale sind die kleinen im Omphazit eingeschlossenen Granaten ganz vollkommen entwickelte Krystalle (110), alle übrigen nur rundliche Körner. Da aber bei sehr vielen Eklogitderivaten der Granat sehr schöne selbständige Gestalt zeigt, so erweist er sich auch in dieser Gesteinsart als ein sehr krystallisationskräftiges Mineral.

Neben ziemlich ganzrandigen rundlichen Körnern kommen auch buchtige Gestalten vor oder solche mit zerfressenem Rand. Am auffallendsten ist der übrigens seltene Fall, daß dies Mineral von so starker gestaltlicher Individualität nur wie eine Füllmasse zwischen die Pyroxene tritt. Als Beispiel kann ein Eklogitblock aus dem Sulztal gelten. Sehr oft läßt es sich wegen des isotropen Verhaltens des Minerals kaum unterscheiden, ob ein einheitliches, von großen Einschlüssen erfülltes Granatkorn, oder eine lokale Anhäufung kleinerer Körner mit wenig zwischenliegenden andern Gesteinskom-

[1]) Abnorme Granatformen kommen im Eklogit von Randeck bei Freiberg vor, wo das Mineral eine dünnschalige Hülle um einen großen Omphazitkern bildet und nach Riess (1) im Eklogit von der Falser Höhe bei Markt Schorgast, wo sich im Innern der Granaten eine regelmäßig verlaufende Quarzzone befindet.

ponenten vorliegt. Beide Fälle kommen gewiß vor. Die Eigenfarbe des Granats wechselt im Sulztal und an der Schutthalde am Burgstein zwischen blaßrot, leuchtend hochrot und seltener braunrot, womit dann geringere Durchsichtigkeit verbunden ist. Im Profil Sölden erscheinen nur tiefer gefärbte Granaten.[1]) Unter dem Mikroskop ist das Mineral meist farblos, die braunrote Varietät leicht rötlich gelb, und zwar zuweilen so, daß gefärbte Flecken im farblosen Felde sich abheben.

Der Granat ist gewöhnlich stark und regellos zerklüftet. Nicht selten kommt jedoch eine ganz gleichmäßige Zerklüftung vor, bei welcher sich die Risse annähernd im rechten Winkel schneiden. (Tafel V, Figur 10.) Sie erinnert so sehr an die Pyroxenspaltbarkeit, daß man, wenn das Relief eines Kornes aus irgend einem Grunde nicht stark hervortritt, durch Kreuzung der Nicols erproben muß, ob ein Granat oder ein Omphazitquerschnitt vorliegt. Eine andere Art von regelmäßiger Klüftung im Granat unterscheidet sich von dieser nur durch die Verschwommenheit der sich unter einen Winkel von etwa 90° schneidenden Linien, wobei sich der Eindruck von Spaltrissen ganz verliert. Das rechtwinklige Rißnetz durchzieht nur kleinere Individuen ganz und nimmt bei größeren breitere oder schmälere Randzonen oder auch Segmente rundlicher Körner ein. Es erinnert stark an die Streifung der sogenannten Schachbrettquarze und findet sich nur in Schliffen, welche die stärksten kataklastischen Spuren aufweisen.

Die breiteren und tieferen Risse im Granat sind meist von kleinen Körnchen grüner Hornblende erfüllt.

Der Granat ist im Gegensatz zum Omphazit fast stets sehr einschlußreich. Die Größe und auch die Art der Einschlüsse wechselt stark. Am häufigsten sind Scharen winziger Rutil-Körnchen. Auch Erz und Pyroxen kommen oft vor; in manchen Stücken letzterer fast ausschließlich. Quarz, Plagioklas, Epidot und Zoisit sind seltener. Die in der Literatur manchmal erwähnten Gasporen fehlen in den Granaten der Ötztaler Eklogite ganz. Die Einschlüsse sind sehr oft zentral gehäuft. Der einschlußfreie Rand ist wahrscheinlich eine Anwachszone, wie sich das in Präparaten von Eklogiten des Fichtel-

[1]) In der Literatur wird die Farbe des Granats in den Eklogiten von blaßrot bis braunrot angegeben. Nach Lohmann (3) soll bei mehreren Vorkommnissen die Intensität der Farbe vom Rande zur Mitte oder umgekehrt abnehmen. Derselbe Verfasser spricht von farblosem Granat im Eklogit von St. Peter bei Freiburg in Baden.

gebirges und von Eklogitderivaten des Ötztales durch eine scharfe Randlinie des inneren Korns oder durch seine Umhüllung mit Quarz oder Hornblende ganz deutlich wahrnehmen läßt. In solchen Eklogiten vertritt also ein Granatkorn 2 Perioden der Gesteinsbildung.

Die ansehnliche Zahl der in der Literatur vorhandenen Analysen von Granat aus Eklogiten gestattet schon einen gewissen Grad von Überblick über die vorkommenden Arten. Am häufigsten scheint eine isomorphe Mischung von Almandin, Grossular und Pyrop zu sein. Der Granat von der Saualpe und einige andere sind vorwiegend Eisentongranaten. Für die von mir ausgeführte Granatanalyse wurde derselbe Eklogit verwendet, dessen Omphazit auch analysiert worden ist. Die Gewinnung reinen Materials geschah auf dieselbe Weise wie bei letzterem. Das Resultat der Analyse ist folgendes:

	I.				II.
	Aufschluß mit Soda	Aufschluß mit Flußsäure	Mittel		Aus der Formel berechnet
SiO_2 . .	38·73		38·73		38·57
TiO_2 . .	0·34	0·34	0·34		
Al_2O_3 . .	19·81	19·72	19·76	25·21	25·16
Fe_2O_3 . .	5·38	5·53	5·45		
FeO . .		19·31	19·31		19·70
CaO . .	7·87	7·87	7·87		7·66
MgO . .	8·91	8·94	8·92		9·20
			100·38		99·99

Spezifisches Gewicht 4·0.

Aus dem Resultat der Analyse berechnet sich folgende Formel:

$$3\,(SiO_4)_3\,Al_2\,Fe_3$$
$$2\,(SiO_4)_3\,(Al\,Fe)_2\,Mg_3$$
$$(SiO_4)_3\,Al_2\,Ca_3$$
$$(SiO_4)_3\,Al_2\,Ca_2\,Mg.$$

Die aus dieser Formel berechnete prozentuale Zusammensetzung ist unter II. gegeben.

Die Weinschenksche Anschauung von der Doppelreihe Kalkgranat und Eisenoxydulgranat, welche nur im geringen Maße isomorphe Mischungen eingehen sollen, wird durch die Analyse des Granats aus dem Eklogit vom Burgstein nicht bestätigt[1]), denn er hat neben

[1]) Noch reichlicher ist die Grossularmolekel im Granat von Umhausen vertreten.

19·31% FeO beinahe 8% CaO, was 4 Grossular auf 16 Almandin + Pyrop bedeutet.

c) Hornblende.

Nur in jenen Eklogiten, welche kaum Spuren chemischer Metamorphose an sich tragen, liegt das Granatkorn rein zwischen den Omphaziten. Gewöhnlich kommt der Granat in einer ganz bestimmten Verbindung mit grüner Hornblende vor, die teils wegen ihrer überall gleichen Form, teils auch wegen ihrer weiten Verbreitung, wie die Omphazitausfaserung, den Charakter von Gesetzmäßigkeit annimmt. An allen drei Ötztaler Lokalitäten ist der Granat meist von einer schmalen Zone grüner Hornblende umgeben, welche in ihren Anfangsstadien oft aussetzt, bei weiter fortgeschrittener Entwicklung aber einen geschlossenen Ring bildet. Der Omphazit stößt fast nie direkt an den Granat, in seiner Nähe tritt Hornblende ein, welche gegen den Pyroxen hin sehr hellgrün oder farblos ist, gegen den Granat hin an Farbenintensität allmählich zunimmt. Wo ein anderes Mineral als Omphazit an den Granat grenzt, fehlt die Hornblende stets. Diese den Granat umgebende Hornblende ist in den Eklogiten des Ötztales meist körnig und steht nicht radial. Nur sehr selten, bei breiterer Hornblendezone, gehen von den nicht orientierten Körnern dieses Minerals Zotten gegen den Granat hin mit zwischenliegendem Plagioklas. Die Grenze des Granatkorns ist gewöhnlich scharf, aber niemals glatt, sondern zackig. In der Regel geht die Breite der Hornblendezone mit der Entwicklung der kryptodiablastischen Struktur Hand in Hand, so daß sie ihr direkt proportional ist. Daß der grüne Rand nicht einfach als direktes Umwandlungsprodukt des Granats, sondern als ein Mittelding zwischen Perimorphose und Umwandlungs-Pseudomorphose angesehen werden muß, werden wir bei der Besprechung der Eklogit-Amphibolite sehen. Noch ist zu erwähnen, daß den Hornblendekörnern meist Magnetit beigesellt ist, der zuweilen aber auch fehlt.

Die grüne Zone um den Granat wird schon von Drasche[1]) erwähnt. Er erkennt sie als Hornblende und vermutet eine chemische Beziehung zwischen diesem Mineral und dem Granat, auf die er aber nicht weiter eingeht. Er fand sie bei den Eklogiten von Greifendorf, Heiligenblut in Kärnten, Saualpe und Département des Hautes

[1]) Drasche spricht auch von Vorkommnissen, wo die Hornblende nicht körnig, sondern radial leistig entwickelt ist.

Alpes. Lohmann (3) führt sie, ohne näher darauf einzugehen, von den Eklogiten des Bagne- und Saastals an und Riess (1), der sie in bayerischen Eklogiten findet, hält sie für Chlorit. In den mir bekannten Eklogiten des Fichtelgebirges ist der grüne Rand stets Hornblende. Nach Ippen (10) ist die Granatumhüllung in den Eklogiten des Bachergebietes selten und entwickelt sich hauptsächlich da, „wo der Eklogit sich mehr zur Massenstruktur, zum derben Eklogitfels ausbildet". Da dies aber bei dieser Gesteinsart die Regel ist und wenigstens bei fast allen mir bekannten Vorkommnissen zutrifft, so liegt wenig Einschränkendes in dieser Beobachtung.

Derselbe Verfasser (50) beschreibt einen Eklogit des Bachergebietes mit zentrischer Struktur, indem den Granat und zuweilen auch den Disthen, von innen plagioklasreiche, von außen hornblendereiche Mäntel umgeben. Von Jukowsky (21) wird der Hornblendezone um den Granat eine besondere Betrachtung gewidmet. Der Verfasser läßt die Hornblende sich aus dem Granat entwickeln, die er „Kelyphite" nennt und die sich von dem aus dem „Diopsid" hervorgehenden „Amphibole d'ouralitisation" durch weniger starke Spaltbarkeit und den Polychroismus (vert bleuâtre) unterscheidet. Beim „Amphibole d'ouralitisation" ist der Pleochroismus grün und gelbgrün. Der „Kelyphit" scheint nun aber nur die Spalten im Granat auszufüllen, während di ehier radiale Hornblendezone um dies Mineral zum „Amphibole d'ouralitisation" gehört, was aber eine im Fortgang der Metamorphose vollständige Umwandlung des Granats in Kelyphit nicht ausschließt. Bei den Ötztaler Eklogiten unterscheidet sich die in den Klüften angesiedelte Hornblende durch nichts von derjenigen, welche das Granatkorn außen umhüllt.

d) Rutil.

Das häufigste akzessorische Mineral ist der Rutil, der den Ötztaler Eklogiten niemals fehlt. Im Sulztal wird er in manchen Blöcken zum makroskopisch wahrnehmbaren Gemengteil, wo er dann durch sein lebhaftes Braun auffällt. Die Formenentwicklung ist eine zweifache. Die größeren, schon mit freiem Auge oder der Lupe wahrnehmbaren Körner sind lappig oder buchtig gestaltet und erscheinen durch reichliche Zwillingsbildung gegittert. Die Spaltbarkeit nach dem Prisma ist gut entwickelt. Der zweite Modus ist klein und besser krystallographisch begrenzt. Die Prismenflächen sind stets

scharf, oft auch die terminale Begrenzung. Aber selbst in diesem Falle macht das Korn einen etwas ovalen Eindruck, wegen der Kleinheit der Endflächen. Die großen unregelmäßigen Körner liegen mehr vereinzelt und sind fast stets mit Erz eng verknüpft, die kleinen sind zahlreich, oft wie Getreidekörner über den ganzen Schliff verstreut und gewöhnlich frei von Erzanhängseln. Die Farbe der kleinen Säulchen geht von einem tiefen Braun bis zum lichten Gelbbraun und dann erinnern sie stark an Zirkon, besonders auch weil in diesem Falle zwischen gekreuzten Nikols sehr lebhafte chromatische Polarisation erscheint, während gewöhnlich die starke Eigenfarbe des Minerals diese Folge seiner hohen Doppelbrechung verhüllt. Da aber alle Übergänge von den dunkelsten zu den hellsten Individuen vorhanden sind, kann kein Zweifel an der Rutilnatur auch der lichteren Körner bestehen.

Die eine Zeitlang brennende Zirkonfrage scheint in der petrographischen Literatur für die Eklogiten endgültig erledigt. Riess (1) nennt den „Zirkon in seinem konstanten Auftreten typisch für den Eklogit". Lohmann (3) läßt es in den meisten Fällen zweifelhaft, ob es sich um Zirkon oder Rutil handelt, gibt aber in seiner Tabelle fast allen Eklogiten Zirkon, während er sicheren Rutil nur bei einigen Vorkommnissen erwähnt. Auch Ippen nennt die rotbraunen Säulchen in den Eklogiten des Bachergebietes Zirkone. In den Ötztaler Eklogiten fehlt der Zirkon, wie wir gesehen haben, vollständig und in den mir bekannten bayerischen Eklogiten ist der sogenannte Zirkon Rutil, in genau derselben Ausbildungsweise wie im Ötztale. Das Mineral wurde isoliert und als Rutil nachgewiesen durch die Titansäurereaktion in der Phosphorsalzperle. Überhaupt ist der Rutil typisch für den Eklogit. Die Verwechslung der beiden Mineralien hat wohl ihre Ursache zum Teil darin, daß die Allverbreitung der Titansäure erst in neuerer Zeit bekannt geworden und vor allem in den Ausführungen Sandbergers (7). Leider ist in allen Eklogitanalysen bis jetzt versäumt worden, auf TiO_2 zu prüfen. Meine Analysen dieser Gesteine und deren Derivate ergaben 0·30%—2% TiO_2, je nachdem sich viel oder wenig der braunen Säulchen im zugehörigen Schliffe fanden. Ein kleiner Teil der gefundenen Titansäure mag auf das Erz fallen. Wegen der Übereinstimmung der Eklogit- und Gabbroanalysen dürfen auch letztere herbeigezogen werden; sie ergeben nach Rosenbusch einen TiO_2-Gehalt von

0·20—1·75. Wenn auch die Titansäure in diesen Eruptivgesteinen nicht als Rutil vorhanden gewesen, so tritt sie in den von ihnen abstammenden krystallinischen Schiefern nach dem Volumgesetz doch am wahrscheinlichsten als Rutil auf.[1])

e) Erze, Magnetit.

Rutil ist, wie wir gesehen, häufig mit einem Erz vom optischen Habitus des Magnetites eng verbunden, das aber wahrscheinlich, eben wegen dieser Gesellschaft, titanhaltig sein wird. Das Erz ist körnig; deutliche Krystallformen sind nicht entwickelt. Die der Hornblende, welche den Granat umhüllt, häufig beigemischten kleinen Erzkörnchen sind wohl Magneteisen und stehen, wie wir sehen werden, mit dem Granat in chemischem Zusammenhang.

Der Pyrit kommt in größeren Körnern, oft gut krystallographisch entwickelt, vor und hat nicht selten auch in ganz frischen Eklogiten eine rote Oxydationsrinde.

f) Disthen.

Während die bis jetzt besprochenen Gemengteile in allen Eklogiten des Ötztales auftreten, erscheint der Disthen nur in einigen Blöcken der Schutthalde am Burgstein, deren Anstehendes nicht gefunden wurde. Es ist die dichte Varietät mit Trümmerstruktur. U. d. M. sieht man lichtblaue Adern den Schliff durchziehen, die aus splitterartigen, länglichen Körnchen bestehen. In der Form gleichen sie ganz den Omphaziten desselben Gesteins. Mit diesen sind sie auch stets verbunden, und da ihnen meist Spaltbarkeit und Querklüftung fehlt und ihre Licht- und Doppelbrechung der des Pyroxenminerals fast gleichkommt, so ist die Unterscheidung der beiden Gesteinskomponenten manchmal nicht leicht. In den bayerischen Eklogiten, besonders in dem von Silberbach, ist die Erscheinung des Disthens eine etwas andere. Zwar ist er auch hier stets mit dem Omphazit verknüpft und gleicht ihm in der Form, die aber hier in schönen, länglichen Säulchen besteht, deren Spaltbarkeit und Querklüftung gut entwickelt ist, aber die Verteilung geht durch das ganze Gestein in striemigen und nesterartigen Aggregaten. Nach Ippen (10) kommt der Disthen in den Eklogiten des Bachergebietes lagen- und nesterweise vor.

[1]) Jukowsky (21) will neben Rutil vereinzelte Zirkone in den Eklogiten der Aiguilles rouges gefunden haben.

g) Biotit.

In den disthenführenden und auch in einigen anderen Eklogiten des Burgsteins erscheint ein brauner Glimmer in eigentümlicher Ausbildungsweise. Man bemerkt, daß in manchen Komplexen des Schliffes die wolkige Omphazitumrandung einen bräunlichen Ton annimmt. Bei starker Vergrößerung zeigt sich, daß es an diesen Stellen anstatt zur Faserung zur Ausbildung winziger Schüppchen gekommen ist, die aber in ihrer Gesamtheit die Form der gewöhnlichen kryptodiablastischen Verwachsung um den Pyroxen beibehält. Zwischen gekreuzten Nikols glänzen sie als lebhaftes, buntes, extrem feines Aggregat auf, so daß an ihrer Glimmernatur kein Zweifel bleibt, umsomehr, als auch ihre Lichtbrechung eine geringe ist. Hier und da erscheint statt der hohen Polarisationsfarben das matte Blaugrau des Chlorits. Ohne Zweifel handelt es sich hier um den Übergang der kryptodiablastischen Hornblende in braunen Glimmer unter Beibehaltung der Form ersterer. Ob die Chloritbildung via Glimmer erfolgte oder direkt aus der Hornblende stattfand, läßt sich nicht entscheiden.

h) Plagioklas.

Daß die graue, sehr schwach licht- und doppelbrechende Füllmasse, welche in solchen Eklogiten auftritt, die um den Granat eine etwas breitere grüne Hornblendezone haben, Plagioklas ist, ist nur ein Analogieschluß. Die Hornblendekörner der Umrandung gehen in Leistchen gegen den Granat hin aus und zwischen diesen befindet sich das farblose Mineral, formlos, ohne Spaltbarkeit und Zwillingsbildung. Weiter fortgeschrittene Stadien des Hornblenderinges, wie sie die Eklogit-Amphibolite zeigen, gestatten die Bestimmung der Füllmasse als Plagioklas, so daß die Annahme, es liege auch in den Eklogiten dies Mineral vor, berechtigt scheint.

i) Zoisit-Epidot.

Die Mineralien der Epidotgruppe, obwohl nur in wenigen Vorkommnissen ganz fehlend, sind doch ziemlich selten und scheinen stets sekundär zu sein. Gewöhnlich erscheint nur Pistazit in kleinen Körnchen ohne Krystallform und ohne Spaltbarkeit. Mikroskopisch ist er immer farblos. In dem schönen Eklogit vom Sulztal ahmen Körnchenaggregate die Form des Omphazits nach, so daß hier wahrscheinlich eine Pseudomorphose von Epidot nach Omphazit vorliegt.

Einzeln siedeln sich solche Körnchen auch in Rissen von Granat an und sind überhaupt in stark dynamisch beanspruchten Vorkommnissen am häufigsten. Dies, sowie ihre Form und die Variabilität der chromatischen Polarisation lassen die sekundäre Natur des Epidots nicht bezweifeln. Seine Entstehung ist offenbar von den Vorgängen, welche die Parallelprozesse der Zerfaserung des Omphazits und der Umhüllung des Granats mit Hornblende verursachen, ganz unabhängig, denn er findet sich gerade in solchen Eklogiten schön und häufig vor, wo die erwähnten Erscheinungen ganz fehlen und seine Bildung ist wie die Oxydation des Pyrits einfacher Verwitterungsprozeß.[1])

k) Quarz.

Der Quarz ist sehr selten und erscheint fast nur als Einschluß in Granat und Omphazit. Vereinzelt kommen größere oder kleinere Aggregate von Quarzkörnern vor, die aber offenbare Fremdlinge im Gestein, gewiß nur Ausfüllungen von Hohlräumen sind, welche bei mechanischen Einwirkungen entstanden waren.[2])

3. Krystalloblastische Reihe[3]) der Eklogitkomponenten.

Aus den vorstehenden Ausführungen kann die Reihenfolge der Mineralien abgeleitet werden, welche ihre Fähigkeit zu guter krystallographischer Entwicklung ausdrückt, durch welche also ihre Krystallisationskraft bezeichnet wird. Für die Eklogitkomponenten ist die Reihe die folgende: Rutil, Granat, Zoisit, Omphazit, Pyrit, Magnetit, Hornblende, Epidot, Plagioklas, Quarz, Calcit.

4. Chemismus der Eklogite.

Von Ötztaler Eklogiten wurden von mir zwei Bauschanalysen ausgeführt. Analyse I betrifft den schönen Eklogit vom Sulztal, in welchem die Hornblendisierung der Pyroxene noch kaum in Spuren vorhanden ist und der Granatring fast ganz fehlt. Zu Analyse II

[1]) In einem Eklogit des Burgsteins wurden Züge von reinem Zoisit beobachtet mit guter Seitenbegrenzung. Ganz dasselbe Auftreten des Zoisits findet sich in gewissen Eklogit-Amphiboliten als für das Gestein charakteristisch und soll daher dort beschrieben werden.

[2]) In der Nähe sehr angegriffener Pyroxene erscheint zuweilen etwas Karbonat in fetziger Gestalt.

[3]) Mitteilungen der Wiener Mineralogischen Gesellschaft. Tsch. Mineralogische Mitteilungen, XXI, 1902, pag. 354.

wurde das Gestein von der Schutthalde am Burgstein benützt, welchem der analysierte Omphazit und Granat entnommen sind.

I. Eklogit vom Sulztal.

	Aufschluß mit Soda	Aufschluß mit Flußsäure		Mittel	Molekular-prozente	Metallatom-prozente
SiO_2	44·06			44·06	49·58	42·6
TiO_2	2·30	2·29		2·29	—	—
Al_2O_3	17·64	17·62		17·63	11·24	19·3
Fe_2O_3	3·34	3·47		3·40	1·36	10·2
FeO			9·96	9·96	9·09	
CaO	11·60	11·56		11·58	13·45	11·6
MgO	7·15	7·23		7·19	11·65	10·0
K_2O		0·91		0·91	0·59	1·0
Na_2O		2·92		2·92	3·06	5·3
H_2O unter 110°			0·12	0·12		
H_2O über 110°			0·17	0·17		
				100·23	100·00	100·00

Spezifisches Gewicht 3·54.

Kerne: Z. = 153·9

24% $NaKAlSi_2$ M. A. Z. = 178·9

31% $CaAl_2Si_4$ A. Z. = 447·9

52% R_2Si

3% RSi

II. Eklogit vom Burgstein.

	Aufschluß mit Soda	Aufschluß mit Flußsäure		Mittel	Molekular-prozente	Metallatom-prozente
SiO_2	46·26			46·26	48·72	42·7
TiO_2	0·26	0·30		0·28		
Al_2O_3	14·39	14·50		14·45	8·94	15·7
Fe_2O_3	4·48	4·33		4·41	1·75	7·6
FeO			5·82	5·82	5·31	
CaO	11·74	11·57		11·66	13·20	11·5
MgO	11·99	11·99		11·99	18·76	16·4
K_2O		1·51		1·51	1·—	1·7
Na_2O		2·45		2·45	2·50	4·4
H_2O unter 110°						
H_2O über 110°			1·10	1·10	1·10	
				99·93	100·00	100·00

Spez. Gew. 3·45.

Kerne: 24% $NaK\ Al\ Si_2$	Z. = 159·9
30% $Ca\ Al_2\ Si_4$	M. A. Z. = 182·6
36% $R_2\ Si.$	A. Z. = 454·6
10% $R\ Si.$	

Beide Analysen entsprechen vollkommen dem normalen Eklogitchemismus und stimmen von allen mir bekannten Eklogitanalysen am meisten mit denen Jukowskys (21) von den Aiguilles rouges überein. Diese sind aber auch nach der Beschreibung in bezug auf Mineralbestand und Struktur denen des Ötztals sehr ähnlich. Große chemische Übereinstimmung besteht auch mit Eklogit von Altenburg (analysiert von Max Schuster) bei Becke (6), während der petrographische Habitus der Gesteine sehr verschieden ist.

Der Chemismus aller dieser Eklogite ist der eines Gabbro oder eines Ergusses dieses Magmas, wie neben den Analysen die aus denselben berechneten Metallatomprozente, Molekularprozente und Rosenbuschschen Kerne zeigen. Daraus folgt, daß die Ötztaler Eklogite Derivate solcher Eruptivgesteine sind, was auch durch ihre Lagerungsweise und Klüftung bestätigt wird. Wie kaum ein anderes Glied aus der Gruppe der krystallinen Schiefer widerlegt der Eklogit die Zirkelsche Kritik der Rosenbuschschen Theorie, daß die Lagergesteine Derivate von Eruptiven oder Sedimenten sind und daß die chemische Übereinstimmung im allgemeinen ein sicheres Kriterium der genetischen sei. Zirkel sagt in seinem Lehrbuche der Petrographie, Band III: „da der Mineralstand vieler krystalliner Schiefer mit dem gewisser Eruptivgesteine übereinstimme, so besonders der der Gneise mit dem von Graniten, so berechtige ihre chemische Identität durchaus nicht zu genetischen Schlüssen.“ Aber der Mineralbestand eines Eklogits ist von dem eines Gabbro oder Diabases wesentlich verschieden und doch ist die Übereinstimmung fast aller in der Literatur vorhandenen Eklogitanalysen mit dem Chemismus solcher Magmen eine vollkommene.

5. Entstehung des Eklogits.

Wie sehr auch der Chemismus der Eklogite ihren Zusammenhang mit gabbroiden Gesteinen bestätigt, darf man sich doch nicht verhehlen, daß Übergänge und Zwischenglieder zwischen Gabbro und Eklogiten, wie sie so vielfach zwischen Gabbro und Amphiboliten beschrieben worden sind, bisher nicht bekannt geworden sind. Dagegen ist die Bildung der Hauptgemengteile des Eklogits aus Gabbro-

komponenten im einzelnen öfter beobachtet worden. Für den Omphazit, dessen chem. Zusammensetzung der des Diallags von allen Pyroxenen am ähnlichsten ist, mußte einfache Verwischung der Spaltbarkeit nach (100) durch Neukrystallisation eintreten. Diese fehlt übrigens auch manchen Omphaziten nicht ganz (21), (49); öfter werden Diallag-artige Pyroxene oder Diallage (6) als Eklogitpyroxene angegeben.

Granatbildung an metamorphen Gabbros wurde von R. Schäfer (13) (47), P. Michael (33) und W. Hammer (22) beschrieben. Danach scheint der Granat am häufigsten aus Wechselwirkung von Olivin und Plagioklas hervorzugehen, öfter auch aus Pyroxen; Kalktongranat bildet sich auch aus Plagioklas allein. Sehr schön kann die Granatbildung im Gabbro von Salicetti, Val Mastallone, beobachtet werden. Meine Handstücke gehören einem mittelkörnigen Diallag-Bronzit-Gabbro an mit sehr reichlichem Labrador. Innerhalb der Pyroxenkomplexe siedeln sich nun stellenweise fast bis zur Verdrängung der Augitmineralien kleine, rundliche Granatkörner an, immer so, daß sich die Mengen von Pyroxen und Granat umgekehrt proportional erhalten.[1])

Aus diesen Beispielen geht die Mannigfaltigkeit im Bildungsmodus des Granats hervor. Wahrscheinlich aber läßt sich die Bildung der einzelnen Gemengteile eines Eklogits meist gar nicht mehr auf einzelne Komponenten eines gabbroiden Gesteines beziehen, sondern die mineralogische und strukturelle Umwandlung ist eine so tiefgehende, daß an eine intensive Mischung der Elemente gedacht werden muß.

Wie bekannt sind die Entstehungsbedingungen eines jeden Gesteins bis zu einem gewissen Grade aus seiner Textur und Struktur und aus seinem Mineralbestand herauszulesen. Um dies für den Eklogit zu können, sei mir erlaubt, in möglichster Kürze auf die zugrunde gelegten Prinzipien einzugehen. Die mikroskopische Arbeit an den krystallinen Schiefern hat letzterer Zeit zu einer Erweiterung und Modifikation der Ideen des Dynamometamorphismus geführt[2]) in dem Sinne, daß der Druck als dominierender Faktor

[1]) Kemp (30) berichtet von einem Anorthosite am Lake Champlain, in welchem der Granat Lamellen bildet, die an die Stelle von Zwillingslamellen der Plagioklase treten.

[2]) Einen neuen und eigenen Weg hat Weinschenk durch den Gedanken der Piezokrystallisation eingeschlagen. Indessen ist der geologische Bau des mittleren

aufgegeben wurde[1]). Er unterstützt nur mehr die durch kleinste Wassermengen vermittelte chemische Aktion durch Zermalmung der Gesteine und Hervorbringung von Spannungszuständen, welche die Umkrystallisation befördern u. s. w. und beeinflußt das texturelle und strukturelle Gepräge (Krystallisationsschieferung, gleiche oder verschiedene Größe der Bestandmineralien u. dergl.). Die Ideen des modernen Dynamometamorphismus sind von van Hise (43) unter Zugrundelegung der van t'Hoffschen Gesetze über Temperatur- und Druckänderung bei chemischen Systemen systematisch bearbeitet und bereichert worden. Nach ihm zerfallen die Regionen der Gesteinsmetamorphose in zwei physikochemische Zonen, in welchen die entgegengesetzten Reaktionen herrschen, eine tiefere als das Gebiet der Dissoziationen und eine höhere als das der Assoziationen. Diese beiden Arten von Reaktionen bestimmen hauptsächlich den Mineralbestand jener Zone; der Druck kann in jeder als allseitiger „hydrostatischer" oder als einseitiger, sogenannter „streß" wirken. Statische Massenzustände, wo jede mechanische Einwirkung fehlt, bedingen sehr langsam chemische Umsetzungen mit Erhaltung der ursprünglichen Struktur.

Es mag eine offene Frage bleiben, ob der Einteilungsgrund der Zonen nach van t'Hoffs Prinzipien ein glücklich gewählter ist, ob sie die Hauptfaktoren der Gesteinsumwandlung ausdrücken. Eigentliche Dissoziationen, mit Ausnahme der Dehydierung, kommen ja auch in der tieferen Zone nicht vor und es läßt sich nur sagen, daß sich

Ötztales demselben nicht günstig. Es fehlt dort das die Metamorphose erzeugende zentrale, granitische Massiv, denn es liegen hauptsächlich sedimentäre Gneisse vor, die nur durch kleinere Granitstöcke und durch allerdings relativ mächtige Amphibolitzüge unterbrochen werden. Diese haben keinen Kern mit eruptivgesteinsartiger Natur, der nach außen in schiefrige Gesteine überginge, wie es bei einem unter zentralmassivischen Bedingungen erstarrten Magma sein müßte, sondern es wechseln massige und schieferige Arten bei stets wiederkehrendem Mineralbestand.

[1]) Die Hypothese der reinen Druckmetamorphose wurde durch die Springschen Versuche vielfach als experimentell begründet dargestellt. Weinschenk und van Hise haben gezeigt, daß gerade jene Experimente, welche für die Gesteinsmetamorphose maßgebend gewesen wären, als gescheitert betrachtet werden müssen. Die neueste experimentelle Arbeit von Adams und Nicholson (46) ist für die Frage der Bildung der krystallinen Schiefer von geringer Bedeutung, da ihr Resultat nur ist, daß bei Temperaturen unter 200—300° Umformung des Kalksteins durch Bruch und Zwillingsbildung, bei höheren Temperaturen durch letztere oder Gleitung eintritt, was natürlich durch die Gegenwart von Wasser nicht beeinflußt wird.

in ihr im allgemeinen wegen der vorherrschenden hohen Temperatur jene Verbindungen bilden müssen, welche die geringere positive oder eine negative Wärmetönung besitzen. Gewiß wird aber auch der Druck durch die größte Tiefe derart beeinflußt, daß er nicht nur zunimmt, sondern sich auch dem hydrostatischen immer mehr nähert und er kann dem Temperaturgesetz entgegenwirken. Es werden sich in der größten Tiefe also die spezifisch schwersten Mineralien bilden und die Einteilung in Zonen ist ebenso sehr von der Art des Druckes, als der Höhe der Temperatur beherrscht. Ferner wäre es natürlich, von den zwei unteren Zonen eine oberste abzugliedern, in welcher Druck und Temperatur die gewöhnlichen sind und in welcher nicht das in den Gesteinshohlräumen zirkulierende Wasser, sondern die Atmosphärilien das umgestaltende Agens sind. Durch sie würde der Einfluß besonders des Massenwirkungsgesetzes (61) demonstriert, das bei der Betrachtung der physiko-chemischen Prinzipien der Gesteinsmetamorphose nicht vergessen werden sollte, da es den großen Kampf der Kohlensäure mit der Kieselsäure beherrscht. Daneben wäre auch noch der Gibbsschen Phasenregel zu gedenken und der inneren, durch das Wesen des sich umwandelnden Gesteinskörpers bedingten Faktoren. Zu ihnen gehören im weitesten Sinne die chemischen Affinitäten und das Mengenverhältnis der in Betracht kommenden Elemente, enger der molekulare Bau der Gesteinskomponenten, ihre Löslichkeit, Verwitterbarkeit, Härte, Spaltbarkeit, Gleitfähigkeit, ihre Neigung zur Zwillingsbildung und in geringem Grade vielleicht auch ihre Schmelzbarkeit.

Nach den oben angedeuteten Merkmalen der verschiedenen Tiefenstufen ist die Entstehungszone des Eklogites leicht feststellbar. Seine Mineralkomponenten haben durchgehends ein hohes spezifisches Gewicht, was auf große Drucke und dadurch wahrscheinlich auf große Tiefe hinweist. Wasserhaltige Mineralien sind in den Eklogiten in der Regel erst sekundär und fehlen dem ursprünglichen Gestein. Bei hohen Temperaturen, also in großer Tiefe, können hydrierte Komponenten nicht entstehen noch bestehen. Eines der charakteristischen Mineralien der untersten Zone ist der Pyroxen[1]), der als Neubildung höherer Tiefenstufen zu fehlen scheint. Auch der Granat bildet sich gerne in großer Tiefe, ebenso wie der schwere Rutil.

[1]) Spezifisch schwerer als die in weniger großer Tiefe vertretene Hornblende und wasserfrei.

Zu den gleichen Resultaten führen die Beobachtungen der Struktur. Wir haben gesehen, daß besonders am Omphazit Spuren von Kataklase reichlich auftreten, von leiser undulöser Auslöschung bis zur vollständigen Zertrümmerung. Daraus darf man aber wohl kaum schließen, daß bei der Bildung des Eklogits die chemische Umformung nicht mit der mechanischen Schritt zu halten vermochte, denn die Kataklase hat offenbar den fertigen Mineralbestand des Gesteins betroffen. Wir fanden die Eklogite fast durchgehend massig gefügt, doch oft mit einer mehr oder weniger ausgesprochenen Tendenz des Omphazits zu paralleler Lagerung der Längsrichtung. Die Korngröße ist ziemlich gleichmäßig, letzteres freilich nicht ohne manche Ausnahme. Die Erhaltung der massigen Textur setzt hydrostatische oder statische Massenzustände voraus; Paralliel-Textur und gleiche Korngröße weisen auf dynamische Einwirkungen hin. Allein keines dieser Charakteristika ist hier scharf ausgesprochen; daher hat man den Bildungsherd der Eklogite in einer Tiefenstufe zu suchen, wo sich statische und dynamische Massenzustände gewissermaßen kombinieren, das ist die tiefste Zone.

II. Eklogit-Amphibolite.

Die beiden im vorigen Kapitel beschriebenen Vorgänge, die Entstehung der kryptodiablastischen Struktur (Ausfaserung und Hornblendisierung des Omphazits) und die Bildung der Hornblendezone um den Granat können ihren Fortgang nehmen, so daß der Pyroxen immer mehr verdrängt und der grüne Ring um den Granat immer breiter wird. Ist das Mengenverhältnis von Omphazit und Hornblende ziemlich gleich geworden, so pflegt man nicht mehr von Eklogit, sondern von Eklogit-Amphibolit zu sprechen. Die Vollendung des Prozesses führt dann zu einem Amphibolit. Die Metamorphose verläuft auch hier nicht einheitlich; unter verschiedenen Bildungsbedingungen entstehen zwei Typen von Eklogit-Amphiboliten.

Typus I. Die Amphibolisierung der Omphazite bleibt an feine Verfaserung geknüpft. Die Hornblendezone um den Granat wird kompakt, geschlossen, im allgemeinen nicht radial. Endglied: ein porphyrartiger Granatamphibolit mit dichter, nephritisch erscheinender Grundmasse. Theoretisches Endglied (nur fleckweise erreicht), porphyrartiger Amphibolit mit nephritischer Grundmasse und Einsprenglingen aus rundlichen Hornblendeaggregaten. (Tafel IV, Fig. 2.)

Typus II. Die Ausfaserung der Omphazite vergröbert sich mit der Entfernung vom Pyroxenkern und geht in körnige oder leistige grüne Hornblende über. Der Hornblendekranz um den Granat zeigt strahlige Tendenz. Endglied: Körniger Granat-Amphibolit. Theoretisches Endglied: Körniger Amphibolit. Zwischen beiden Typen existieren Übergangsformen. (Tafel IV, Fig. 3.)

A. Typus I.

I. Vorkommen.

Derselbe ist das charakteristische Gestein der ganzen reichen Varietätenserie, welcher man beim Nordaufstieg zum Burgstein begegnet und könnte darum auch „Typus Burgstein" genannt werden. Auch da, wo sich der Weg vom Burgstein nach dem auf einer herrlichen grünen Terrasse gelegenen Weiler Brand hinüber wendet, ragen im Walde noch einige kleine Felsköpfe dieses Gesteins hervor und sehr schön findet es sich auch unter den Blöcken im Sulztal. An der Schutthalde am Burgstein fehlt es fast ganz und kommt auch oben im Anstehenden nur in ganz kleinen Schlieren vor, die schon eher Übergangsformen darstellen zu Typus II. Dieser Typus begleitet hier überall den Eklogit. Auch bei Sölden fehlt der Typus I in reiner Entwicklung fast ganz. Die beiden Typen, obgleich stets eng mit Eklogit verbunden, sind also im allgemeinen lokal getrennt.

In der Literatur finden Gesteine vom Typus I mehrfache Erwähnung und auch Beschreibung. J. Blaas (52) gibt eine kurze Notiz über Findlinge dieser Art aus der Umgegend von Innsbruck. Das Gestein besteht nach ihm aus einem innigen Gemenge von Hornblende und Saussürit mit eingesprengten, zum Teil in Hornblende und Orthoklas umgewandelten Granaten. Cathrein (15) beschreibt dasselbe Gestein, das ihm, wie dem vorigen Autor, in seinem Endstadium vorliegt, in den beiden Varietäten, welche unter die Rubriken Pseudomorphose von Epidot nach Granat gestellt sind. Beide Gesteine sind Findlinge aus der Brandenberger Ache. Das Anstehende der zweiten Varietät glaubt Pichler (5)[1]) in der Gegend von Matrei gefunden zu haben; über die erste fehlen diesbezügliche Angaben.

Ein weniger fortgeschrittenes Stadium von Typus I scheinen Pattons (9) Kelyphiteklogite aus der Gegend von Marienbad zu sein.

[1]) Anhang zur Cathreinschen Untersuchung.

Sie treten dort, wie im Ötztale, als Einlagerungen in Amphiboliten auf und bestehen aus einer dichten grünlichen Grundmasse, die sich mikroskopisch als sehr feine granophyrartige Verwachsung von Hornblende und Omphazit erweist, unterbrochen durch Züge von Zoisit und von Plagioklas. Die einsprenglingsartigen Granaten sind von Mänteln grüner Hornblende umgeben.

2. Makroskopischer Habitus.

Der Typus I ist makroskopisch unter den krystallinen Schiefern gewiß eines der auffallendsten und interessantesten Gesteine. Es erscheint fast stets massig, da niemals leichtere Ablösung parallel einer Ebene eintritt und die gleiche Richtung der feinen Schlieren kaum ins Auge fällt. In einem schönen Rollstück aus dem Fischbach im Sulztal erscheinen Bronzitzüge mit einer hellen Umgebung als ganz feine weiße, etwas gebogene gleichlaufende Linien in dem sonst durchaus massig wirkenden Gestein. Manchmal sind die Granaten auffällig reihenweise angeordnet. Auch kommt es vor, daß sie ohne solche Anordnung nach einer Richtung auseinandergezogen sind. In einem Handstück vom Sulztal, mit fast ganz hornblendisiertem Granat findet der Übergang von vollkommen runden zu ganz gestreckten Formen innerhalb eines Raumes von 1 *cm* statt.

Die Grundmasse dieser Gesteine ist stets dicht, von heller grünlichgrauer oder grünlichbraungrauer Farbe. Sie erinnert sehr an Nephrit, was übrigens wegen ihres Bestehens aus einem sehr feinen Hornblendefilz leicht erklärlich ist. Die Granaten, welche selten größer als ein Hirsekorn sind, liegen als „Einsprenglinge" im nephritischen Grundgewebe. Ihre grüne Umhüllung ist stets makroskopisch sichtbar. Sehr oft erscheinen nur mehr grüne, rundliche oder sechsseitige Amphibolflecken an Stelle des Granats mit spärlichen roten Restchen in der Mitte. Die Zoisit- und Plagioklasaggregate zeigen sich als kleine zuckerkörnige weiße Flecken in der Grundmasse. In vielen Stücken fehlen sie ganz.

3. Mikroskopischer Habitus.

An Ötztaler Vorkommnissen läßt sich die ganze Entwicklungsreihe des Typus Burgstein vom reinen Eklogit bis zum reinen Amphibolit mit nephritartiger Grundmasse leicht aufstellen. Man kann das Breiterwerden der grauen Umwandlung Schritt für Schritt

verfolgen, bis schließlich nur mehr vereinzelte kleine Splitter von Omphazit in dem grauen Filze liegen. Zuletzt verschwinden auch diese. Das mikroskopische Bild des vollendeten Typus Burgstein macht beim ersten Blick einen durchaus verworrenen Eindruck. Das Gesichtsfeld ist von einem grauen, wolkigen Filz erfüllt, der zuweilen von einem Aggregat größerer, meist farbloser Körner oder von Schlieren und Zügen fetziger oder minimaler säuliger Gemengteile unterbrochen wird ohne lebhafte Farbe auch im polarisierten Licht. Nur das kräftige Relief des Granats und das leuchtende Braun des Rutils heben sich lebendiger aus dem matten, wenig individualisierten Untergrund ab. Die kryptodiablastischen Gebilde machen den größten Teil der Pseudogrundmasse aus. Im polarisierten Lichte erscheint sie fleckig, dadurch, daß größere oder kleinere Faserkomplexe zugleich auslöschen. Diese zugleich auslöschenden Flecken haben längliche Gestalt und bedeuten ein früheres Omphazitkorn, dessen Rest auch noch hier und da in der Mitte der Wolke liegt. Ihre Grenze gegen einander ist nicht scharf, doch ist die Faserung an der früheren präsumptiven Korngrenze etwas lockerer und gröber. Auch wechselt in den verschiedenen Vorkommnissen die Feinheit des Gefasers etwas. Wo dasselbe bei den stärksten Vergrößerungen optisch faßbar wird, erweist es sich stets als Hornblende.

a) Hornblende.

Sehr feine Stellen unterscheiden sich nach Farbe, Polisarisationsfarbe und Doppelbrechung so wenig vom Omphazit, daß sie wahrscheinlich noch zu ihm gerechnet werden müssen. Die Hornblende läßt sich am leichtesten an jenen Stellen konstatieren, wo sich größere Körnchen dieses Minerals um den Granat anhäufen. Von ihnen aus finden allmähliche Größenabstufungen bis zum feinsten Gewirr statt. Um den Granat ist die Hornblende stets grün, wenn auch die Intensität der Farbe schwankt. Inmitten der kryptodiablastischen Aggregate liegen zuweilen Häufchen größerer rundlicher Hornblendekörner, deren Farbentiefe in den verschiedenen Schliffen alle Nuancen von hellem Grün bis zu vollkommener Farblosigkeit annehmen. Ebenso, wie diese größeren Körner, ist das Gefaser in den betreffenden Schliffen gefärbt, soweit die Farbe überhaupt unterscheidbar ist. Auch in Präparaten, in welchen im allgemeinen die farblose Hornblende vorherrscht, erscheinen vereinzelt grüne Körner

entfernt vom Granat. Die chromatische Polarisation des faserigen Amphibols ist schwächer als die der Körner, seine Doppelbrechung also geringer. Je gröber die Faserung ist, je deutlicher sie sich als grüne Hornblende darstellt, desto verwischter wird ihr fleckiger Habitus, desto unsicherer die Spuren der Korngrenzen der früheren Pyroxene. An die Stelle des wolkigen Filzes tritt ein feines gleichmäßiges grünes Gewebe, das zwischen seinen Leistchen hier und da eine graue, schwach licht- und doppelbrechende Zwischenmasse durchblicken läßt, die wir später als Plagioklas erkennen werden. Die größeren Hornblendekörner liegen nicht scharf begrenzt in der Grundmasse, die Faserung scheint oft in sie einzudringen, weshalb Cathrein (15) glaubt, daß die faserige Hornblende aus der körnigen sich gebildet habe. Er kannte die Übergänge vom Eklogit zum Typus I nicht. Die Körner sind nur ein anderer Modus der Umkrystallisation der Pyroxene. Ihr Hervorgehen aus dem Omphazit läßt sich bei Typus II direkt beobachten. Die grüne und die farblose Hornblende sind nicht abgegrenzte Arten; es existieren alle Übergänge zwischen ihnen, nicht nur nach der Farbe, sondern auch nach der Doppelbrechung. Zonarer Bau ist nicht selten, wobei gewöhnlich der Rand dunkler ist als die Mitte. Zuweilen läßt sich auch ein allmähliches Grünerwerden eines Individuums gegen die Granatgrenze hin beobachten, woran man dann bequem den Unterschied im optischen Verhalten studieren kann. Es wurde ein Korn gefunden, dessen Schnittlage annähernd in (010) fällt. Die Auslöschungsschiefe am farblosen Ende betrug 16°, am gefärbtesten 19°; dadurch kam eine Art undulöser Auslöschung zustande, die rein chemisch bedingt ist. Die Doppelbrechung der grünsten Partie betrug 0·022, die der farblosen 0·027, Daten, welche ungefähr der Doppelbrechung der gewöhnlichen Hornblende und des Strahlsteins entsprechen. Die Auslöschungsschiefe der am intensivsten gefärbten Hornblende auf (010) wurde zu 22° gefunden; eine hellgrüne Stufe ergab 19° und die ganz farblose Hornblende löschte mit 18° aus.

Anmerkung: Von S. Franchi (26) ist eine Arbeit erschienen. Über die Feldspat-Uralitisierung der Natron-Tonerdepyroxene aus den eklogitischen Glimmerschiefern der Gebirge von Biella, aus der ich zu meiner Freude ersah, daß das Phänomen der Herausbildung von diablastischem Plagioklas und Hornblende auch an andern Gesteinen beobachtet und ebenso gedeutet wurde. Die von Franchi untersuchten Gesteine sind eklogitische Glimmerschiefer und Eklogite (je nachdem der Quarz als Akzessorium oder als Hauptgemengteil auftritt) aus der Gegend von

Biella. Der sich umwandelnde Pyroxen ist von jadeitoidem Chemismus, tonerde- und natronreich, aber wie im Ötztale, von variierender Zusammensetzung. Die sehr alkalireichen Formen liefern hauptsächlich Plagioklas (Albit-Oligoklas), in welchen Hornblendeleistchen eingebettet sind. Zuweilen umkränzen solche große Plagioklase frühere Pyroxene.

Da, wo das Gestein alkaliärmere Pyroxene enthält, entwickelt sich mehr Hornblende und zugleich nähert sich die Struktur der von uns beschriebenen diablastischen.

Franchi nennt die Erscheinung Feldspat-Uralitisierung und glaubt, daß die größere SiO_2-Menge, welche der saure Plagioklas gegen den Pyroxen enthält, von umgebenden quarzreichen Gesteinen durch zirkulierende Wasseradern zugeführt worden sei. Vielleicht aber ist die Bildung des basischeren Amphibols neben dem Feldspat genügend, um den größern SiO_2-Verbrauch des letzteren zu kompensieren, so daß doch alle Kieselsäure aus dem Pyroxen kommen kann.

b) Pyroxene.

Neben den Omphazitresten findet sich in den weniger fortgeschrittenen Formen in einigen Vorkommnissen vom Sulztal und auch von Sölden rhombischer Pyroxen. Auch da, wo die Zerfaserung und Hornblendisierung des monoklinen Pyroxens schon ganz vollendet ist, treten noch relativ gut erhaltene Körner des rhombischen auf. Das Mineral ist farblos und annähernd prismatisch entwickelt. Oft fehlt jede Spur einer Spaltbarkeit; zuweilen ist aber auch prismatische Spaltbarkeit vorhanden. Die Doppelbrechung wurde $\gamma\text{-}\alpha = 0{\cdot}013$ bestimmt. Die Dispersion ist $\upsilon > \varrho$, die optischen Merkmale sprechen also für Enstatit oder Bronzit. Die Körner des rhombischen Pyroxens liegen niemals rein in der kryptodiablastischen Grundmasse. Sie sind von einem schwarzen Rand umgeben, der nicht kompakt ist, sondern an das Vorkommen des Titanits in Insekteneierform bei feinster Ausbildung erinnert. Beim Abblenden erscheint aber nicht ein weißlicher, sondern ein grünlicher Schimmer. Manchmal ragt eines der dunklen Fäserchen, aus welchen sich die ganze schwarze Umwandlung zusammensetzt, in die hellere Umgebung hinein, denn jedes Korn ist noch von einem weißen Hofe umgeben. Diese kleinen Fasern unterscheiden sich bei den stärksten Vergrößerungen durch nichts von der faserigen Hornblende, als durch noch größere Feinheit. In manchen Vorkommnissen fehlt der Kern aus rhombischem Pyroxen ganz, an seine Stelle ist ein länglicher schwarzer Fleck getreten von der Natur der oben beschriebenen Umwandlung. Diese schwarzen Flecken sind, wie die rhombischen Pyroxene, selten vereinzelt; meist sind sie in Zügen geschart. Der

ganze Schwarm liegt dann in einem farblosen Hofe, der sich seiner Form anpaßt. Im polarisierten Licht sieht man, daß der Hof aus einem schwach doppelbrechenden Mineral in fetzigen kleinen Körnchen besteht, die vollkommen den Plagioklaszügen gleichen, welche stellenweise das kryptodiablastische Grundgewebe durchziehen. Es handelt sich, wie wir bei der Besprechung dieser Züge sehen werden, um basischen Plagioklas.

Die Gesteine des Typus I sind zum Teil ganz richtungslos, zum Teil deutlich parallel struiert. Die Parallelstruktur gibt sich manchmal durch reihenweise Anordnung des Granats kund, meist aber durch die Zusammenscharung gewisser Gesteinskomponenten in schlierigen gleichlaufenden Zügen, wobei dann die längste Erstreckung der die Schliere bildenden Gemengteile mit der Längsrichtung der Schliere selbst parallel läuft. Dies ist besonders schön bei den rhombischen Pyroxenen und den sie vertretenden Hornblendeovalen zu sehen. Die Schwärme dieser Mineralien mit ihren weißen Höfen bilden in den massigen Stücken rundliche Flecken, in den parallel gefügten lange Züge, welche sich zuweilen um den Granat schmiegen, wobei dann die Enstatite oder Bronzite undulöse Auslöschung zeigen.

In einem Vorkommnis von Sölden fehlt dem rhombischen Pyroxen die schwarze Umrandung. Zunächst um den Kern erscheint eine breitere, helle Zone (Tafel V, Fig. 9), die von einem schwach licht- und doppelbrechenden Mineral in feinschuppiger Entwicklung gebildet wird. Dann folgt noch ein schmales, dunkleres Rändchen, das höhere Lichtbrechung und stärkere chromatische Polarisation zeigt. Das Rändchen ist einer kleinen Pelzverbrämung vergleichbar und unterscheidet sich durch einen mehr krümeligen Habitus und geringere Dunkelheit von dem feinen Hornblendekranz um die rhombischen Pyroxene. Zuweilen ist auch hier der Pyroxenkern fort und nur das Schüppchenfeld mit der Verbrämung ist geblieben. Die farblose äußere Zone fehlt stets. Der Kern ist mit dem äußersten Rändchen zuweilen wie durch eine Brücke verbunden, indem dasselbe einen Zweig nach innen sendet. Es kommt vor, daß es ganz oder fast ganz einheitlich auslöscht, also aus einem einzigen Krystall besteht. Hier und da geht es in ein größeres Korn über, das in die äußere Umgebung hineinragt. Solche Stellen machen die Bestimmung der Natur dieser pelzbesatzartigen Umrandung nicht allzu schwierig. Neben der stärkeren Lichtbrechung sind die hochgelben, leuchtend

blauen und dann wieder matten grauen Polarisationsfarben maßgebend, so daß kein Zweifel besteht, daß ein Gemisch von Zoisit und Epidot vorliegt. Schwieriger ist die Bestimmung der Zwischenzone. Ihre Farblosigkeit, ihre schwache Licht- und Doppelbrechung könnten einen Feldspat vermuten lassen, da aber die Zwischenzone den rhombischen Pyroxen manchmal ganz verdrängt, kann an eine chemisch ganz heterogene Substanz kaum gedacht werden. Nun sieht man an manchen Stellen feine Schüppchen eines hellbraunen Glimmers sich dem Pyroxenkern anschmiegen und in Eklogiten, wo der früher beschriebene feinschuppige Biotit sich chlorisiert, tritt an seine Stelle ein ganz ähnliches Mineralaggregat, wie wir es in der Zwischenzone beobachten, so daß der Analogieschluß, es werde sich aus braunem Glimmer, der aus dem rhombischen Pyroxen sich an einzelnen Stellen, das heißt unter gewissen Ausnahmsbedingungen entwickelt, die Chloritzone bilden, einige Wahrscheinlichkeit hat. Das Normale ist der Übergang des rhombischen Pyroxens in Hornblende, gerade wie beim Omphazit. Erwähnt muß noch werden, daß der rhombische Pyroxen zuweilen Rutil einschließt.

c) Der Granat.

Der Granat weicht in nichts von dem der Eklogite ab, als daß er im allgemeinen häufiger gut krystallographisch entwickelt erscheint. Doch sind auch rundliche Formen nicht selten und zuweilen in parallel struierten Varietäten sind die Körner gestreckt. Auch die quadratische Klüftung vom Aussehen der Pyroxenspaltbarkeit findet sich hier wieder. (Tafel V, Fig. 10.) Die Einschlüsse sind auf mannigfaltige Art verteilt. Zuweilen sind sie zentral gehäuft, öfter in der Randzone. Manchmal wechseln einschlußarme Ringe mit einschlußreichen, zuweilen häufen sich die Einschlüsse in unregelmäßig verteilten Feldern. Die Art der Einschlüsse ist dieselbe wie bei den Eklogiten. Pyroxen und Rutil herrschen vor, ersterer durch seinen Wirt vor der Zerfaserung und Hornblendisierung geschützt. Dies läßt sich besonders hübsch bei den rhombischen Pyroxenen beobachten. Wo sie innerhalb des kompakten Granatkorns liegen, fehlt ihnen die schwarze Amphibolzone. Liegen sie im Hornblendering um den Granat, so sind sie ganz oder fast ganz amphibolisiert und erscheinen als schwarzer Fleck. Die grüne Hornblende selbst scheint niemals Einschluß zu sein, da sie stets den Rissen folgt.

Die Größe der Granaten ist in derselben Varietät ziemlich gleichmäßig, doch kommen neben größeren rundlichen Körnern auch mikroskopische Rhombendodekaeder vor. Diese letztern können ohne Hornblenderand sein; den größeren Granaten fehlt er niemals. Seine Entwicklung ist etwas verschieden. Sehr oft schließt er sich vollständig der Granatform an, so daß seine äußere Umgrenzung ein scharf abgegrenztes, gut ausgebildetes Sechseck bildet, ein Schnitt durch (010) des Granats. Nach innen, gegen den Granatkern hin, ist der Hornblendering nicht geradlinig abgegrenzt, sondern buchtig oder eckig konturiert oder bildet sich leistig aus nach radialer Lagerung tendierend. Der Granat scheint dann wie angefressen. Die Hornblende ist aber wenigstens zu äußerst immer körnig, der Kranz ganz kompakt und die Leisten gehen nur wie einzelne Zweige vom festen Stamme aus. Wegen des strengen Innehaltens der Granatform macht diese Art der Umrandung durchaus den Eindruck einer beginnenden echten Pseudomorphose. (Tafel IV, Fig. 2.) Aber in vielen Vorkommnissen und sogar auch in denselben Stücken, in welche diese nach außen scharf abgegrenzten Hornblenderinge um den Granat auftreten, kommt es vor, daß die grüne Zone durch Feinerwerden des Kornes allmählich in die sie umgebende mikrodiablastische Grundmasse übergeht oder daß einzelne Körner des Ringes weit in die letztern hinausragen, wobei sie mit der Entfernung vom Granatkern farblos werden. Hier kann natürlich nicht an bloße Pseudomorphose gedacht werden.

Dieser Umstand macht die Tatsache erklärlich, daß die ausgezeichnetsten Beobachter gerade in bezug auf die grüne Hornblendezone, die mit einigen Abänderungen noch in mehreren später zu besprechenden Granatamphiboliten auftritt, zu ganz widersprechenden Resultaten kamen, da die einen (Becke, Patton, Schalch u. a.) sie als Perimorphose erklären, während andere (Cathrein, Lacroix, Holland) von entschiedener Pseudomorphose sprechen.

Die Hornblende umgibt nun das Granatkorn nicht nur äußerlich, sondern durchdringt es auf allen Spalten und Rissen und verbreitet sich auf diesen Wegen offenbar auf Kosten des Granats, so daß in manchen Präparaten an Stelle des Granats ein maschiges Gebilde tritt, dessen Fäden von Hornblende, dessen Löcher von Granatresten gebildet werden. Auch von außen dringt der Hornblendering sich verbreiternd immer mehr gegen das Zentrum vor. Die

Hornblende bleibt dabei nicht kompakt körnig. Sie nimmt die Tendenz zu leistiger Ausbildung an. Oft stehen die Leistchen radial, zuweilen liegen sie beliebig. Zwischen ihnen liegt ziemlich reichlich Plagioklas. Wenn die Hornblendezapfen nur vereinzelt vom äußeren kompakten Kranz sich nach innen erstrecken, dann entsteht auf diese Weise ein doppelter Kranz um den Granatkern, ein innerer hauptsächlich aus Plagioklas bestehend und ein äußerer aus Hornblende. Diese Erscheinung erwähnt Ippen von den Eklogiten des Bachergebietes. Sie tritt auch im Ötztale gar nicht selten auf, ist aber nicht das Gewöhnliche. Meist bildet sich vom Rande aus nach innen ein wirres Aggregat von Hornblendeleisten und Fetzen mit zwischenliegenden Plagioklaskörnern, das schließlich das frühere Granatkorn ganz ersetzt. (Tafel IV, Figur 4.) Diese Verdrängung ist im ganzen bei demselben Vorkommnis gleich weit fortgeschritten; es können aber auch in einem Schliffe ganz verdrängte und noch ziemlich gut erhaltene Granaten erscheinen. Schon in den schmalen Hornblendekränzchen des Anfangsstadiums tritt gewöhnlich Magnetit in Körnern auf; seine Menge ist sehr wechselnd, selten fehlt er ganz. Bei der maschigen Art der Granatumbildung entwickelt sich nicht selten aus den letzten Granatresten zwischen den Hornblendebändern Epidot in unregelmäßigen formlosen Körnern, so daß dann der frühere Granat durch ein Haufwerk von Epidot, Plagioklas, Hornblende und Magneteisen ersetzt wird, wobei aber das Amphibolmineral an Menge stets vorherrscht. Hier und da folgt nicht nur Hornblende den Rissen des Granats, sondern mehr oder weniger reichlich ein chloritisches Mineral, das sich ebenfalls auf Kosten des Granats zu bilden scheint.[1])

Pseudomorphosen von Epidot nach Granat werden in der Literatur mehrfach erwähnt, außer von Cathrein (15) auch von Blum (54) und von Fedorow und Nikitin (55).[2]) Der Übergang

[1]) Es ist von Interesse, daß Ed. Döll ein Hornblendegestein aus dem Petal in Obersteiermark beschreibt, bei welchem die Pseudomorphose von Hornblende nach Granat vom Zentrum aus beginnt, so daß oft nur ein schmaler Kranz von Granat bleibt.

[2]) Eine sehr schöne Pseudomorphose von Epidot nach Granat in einem Amphibolit, der bei der Rinkenberger Brücke im Vorderrheintal ansteht, sah ich in der Sammlung des Herrn Bodmer-Beder. Der Granat ist hier nicht durch ein Aggregat von Epidotkörnern, sondern durch ein einheitliches auslöschendes Epidotkorn ersetzt (vide pag. 70).

des Granats in Chlorit scheint die älteste bekannte Granatpseudomorphose zu sein. Hauer beschreibt sie schon im Jahre 1867. Penfield und Spring haben eine Pseudomorphose von Aphrosiderit nach Eisentongranat beobachtet und Cathrein (15) kennt die Umwandlung von Granat in Chlorit aus Tirol. Die Zahl der Angaben ließe sich noch vermehren. Die Frage, ob in den kompakten Hornblenderingen um den Granat die Anfänge einer Pseudomorphose zu sehen seien, entscheidet sich nach dem Vorstehenden dahin, daß der Granat allerdings einen großen Teil seiner Substanz zu den Ringen liefert, daß aber ein anderer Teil von außen her, gewiß vom Pyroxen, beigesteuert wird. Auf diese Weise erklärt sich ganz einfach das Hinausgreifen der Umwandlungsprodukte über den Granatumriß hinaus und das Entstehen derselben grünen Hornblende, die sich um und in dem Granat bildet, auch entfernt von diesem Mineral. Denn jener Teil der Granatsubstanz, welcher zur Bildung der grünen Hornblende verbraucht wird, kann gelöst weggeführt werden und zum Omphazit gelangen und dort mit den von diesem Mineral zu liefernden Stoffteilchen in Wechselwirkung treten. Ob das Umwandlungsprodukt die Granatform einhält, ist dann von zufälligen Wanderungs- und Lagebedingungen abhängig und so entstehen jene Zwischendinge zwischen Peri- und Pseudomorphose. Daß aber die Stoffwanderung fast immer eine sehr beschränkte bleibt, zeigt sich darin, daß das Ergrünen der Hornblende fast stets an die Granatnähe gebunden ist. Letzterer liefert das Eisen, welches das Amphibolmineral tiefer färbt. Die Analysen der drei an der Umkrystallisation vorzüglich beteiligten Mineralien erhellen den chemischen Vorgang des Prozesses:

Granat + Omphazit = Hornblende + Plagioklas + Magnetit.

Der Granat ist sehr eisenreich; darum bildet sich neben der Hornblende noch reines Eisenerz aus, dessen Menge aber vom Überschuß des Eisens im Granat gegen die der Hornblende abhängt. Dieser Überschuß scheint aber in den verschiedenen Vorkommnissen zu wechseln, was schon aus der sehr verschiedenen Intensität der Granatfärbung wahrscheinlich wird, darum verringert sich der Erzgehalt des Umwandlungsaggregates zuweilen bis zum Verschwinden. Die Tonerde der Hornblende kann aus Granat oder Omphazit kommen, ersterer bedingt einen Überschuß, der im Plagioklas seine Verwendung findet, zu welchem der Omphazit die Alkalien liefert. Übrigens

hat auch die Hornblende, wie aus der pag. 92 gegebenen Analyse hervorgeht, einen nicht unbedeutenden Alkaligehalt. Kalk und Magnesia sind bei allen drei Mineralien ungefähr im Gleichgewicht. Eine strenge Gleichung kann nicht aufgestellt werden, weil die Analyse des Feldspates und der aus dem Omphazit hervorgehenden faserigen Hornblende nicht ausgeführt werden konnte.

Insofern nun die Granatsubstanz endlich ganz zur Bildung jener oben erwähnten Mineralien verwendet wird und insofern sie endlich an Stelle des früheren Granatkornes treten, wenn auch oft nicht mit vollkommenem Innehalten seiner Grenze, läßt sich doch von Pseudomorphose sprechen. Wir unterscheiden also in Typus I dreierlei Arten der Granatumwandlung.

1. Granat in Hornblende + Plagioklas + Magnetit
2. Granat in Hornblende + Plagioklas + Magnetit + Epidot
3. Granat in Hornblende + Plagioklas + Magnetit + Chlorit.

Die Gründe, welche Patton (9) zur Annahme bestimmen, daß die Hornblendemäntel um den Granat nur durch eine richtende Wirkung des letzteren hervorgebracht werden, daß er also Krystallisationszentrum ist, sind:

1. Die Beobachtung ihres Überganges in die Grundmasse.
2. Die scharfe Gestalt des übrigbleibenden Granatkernes.
3. Das Fehlen der grünen Hülle um den Granat bei der Berührung mit Quarz oder Zoisit.
4. Die geringe Adhäsion des Granates mit dem Mantel und
5. Das Vorkommen grüner Umhüllungen bei Quarz, Rutil, Zoisit (2).

Die wesentlichen Bedenken hingegen werden durch die im vorstehenden dargestellte Natur der Hornblenderinge als ein Zwischenglied zwischen Pseudomorphose und Perimorphose gehoben. Daß auch andere Mineralien kleine Hornblendekränze haben, deren heterogener Chemismus eine Umwandlung vollständig ausschließt, kommt auch in Ötztaler Eklogit-Amphiboliten häufig vor. Wir werden sehen, daß ein wesentlicher Unterschied dieser Umwachsungszone mit der Hornblenderinde um den Granat darin besteht, daß ihre Breite nicht mit der Größe des zentralen Kornes abnimmt; während dies beim Granat ganz ausgesprochen ist. Hier wie so oft in der Natur gilt der Spruch: Multa fiunt idem, sed semper aliter.

d) Plagioklas.

Der gleichmäßige Teppich der mikrodiablastisch ausgebildeten Gemengteile wird durch Flecken, Züge oder Schlieren unterbrochen, welche von einem schwach licht- und doppelbrechenden Mineral gebildet werden, dessen feine Körner durch ihre Formlosigkeit einen fetzigen Eindruck machen. Spaltbarkeit wird selten wahrgenommen, zuweilen eine unscharfe Zwillingslamellierung. Symmetrisch auslöschende Körner, die also der Zone $\perp$ (010) angehören, hatten folgende Auslöschungsschiefen:

$$\left.\begin{matrix}26\\27\end{matrix}\right\} 26{\cdot}5 \quad \left.\begin{matrix}27\\27\end{matrix}\right\} 27 \quad \left.\begin{matrix}33\\35\end{matrix}\right\} 34 \quad \left.\begin{matrix}41\\45\end{matrix}\right\} 43 \quad \left.\begin{matrix}29\\33\end{matrix}\right\} 31$$

Darnach gehört das Mineral zu den basischen Plagioklasen, speziell zum Labrador-Bytownit. Der Plagioklas, welcher mit der Hornblende im Grundgewebe verwachsen ist, ist wegen seiner minimalen Ausbildung nicht näher bestimmbar.

e) Quarz.

Der Quarz ist in einzelnen größeren, rundlichen Körnern im Gewebe der Grundmasse zerstreut und kommt auch ganz in derselben Weise, wie in den Eklogiten, als Ausfüllung von Hohlräumen vor. Die erstere Form hat stets ein schmales Rändchen kompakter grüner Hornblende, fungiert also als Krystallisationszentrum. Der Charakter dieses Rändchens zeigt sich schon darin ganz anders als der des Hornblenderings um den Granat, daß seine Breite konstant bleibt und nicht mit dem Kleinerwerden des Quarzkornes zunimmt. Dieser Quarz ist wahrscheinlich der überschüssigen Kieselsäure zuzuschreiben, welche beim Übergang des kieselsäurereicheren Omphazit in die basischere Hornblende des Grundgewebes frei wird. Wo Quarz an den Granat stößt, setzt der Hornblendekranz des letzteren Minerals stets aus, ein deutlicher Beweis für seine „reaction rim“ Natur. Er kommt durch Wechselwirkung zwischen Granat und Omphazit zustande und erhält sich in dieser Beziehung genau wie die Kelyphitkränze um den Olivin in Gabbro.

f) Zoisit.

Der Zoisit tritt in ebendenselben fleckigen oder schlierigen Aggregaten auf wie der Plagioklas, welche bei parallel struierten Varietäten zur Betonung des parallelen Gefüges beitragen, indem die

Schlieren gleichgerichtet sind und, sofern sie aus säuligen Komponenten bestehen, auch diese gleichgerichtet liegen. Der Zoisit ist nicht selten seitlich gut krystallographisch begrenzt, während die Endflächen nicht entwickelt sind. Der β-Zoisit {o.AE || (010)} herrscht auffallend vor, doch fehlt auch der α-Zoisit {o.AE || (001)} nicht ganz. Zuweilen findet sich ein graublau polarisierendes, schief auslöschendes Säulchen eingestreut, ein Klinozoisit, Plagioklas und Zoisit sind gewöhnlich nicht in derselben Schliere vereinigt, sondern laufen in getrennten Zügen nebeneinander her, so daß ein genetischer Zusammenhang zwischen beiden kaum angenommen werden kann. Um die größeren Zoisitsäulchen macht sich häufig eine Zone desselben Minerals in krümmeliger Ausbildung bemerkbar, ganz wie die äußersten Kränzchen um den rhomb. Pyroxen.

g) Epidot.

Epidot ist in farblosen Splittern mit lebhafter chromatischer Polarisation im Gewebe der Grundmasse verstreut. Doch kann er auch ganz fehlen. Er ist mit Quarz und Zoisit im Typus I von durchaus akzessorischem Charakter, nicht bestimmend für das Wesen des Gesteins, ebensowenig wie die oben beschriebenen Plagioklaszüge, welche in einigen Vorkommnissen ganz fehlen, während der Plagioklas zwischen der faserigen Hornblende den Gesteinscharakter mitbestimmt. Risse im Gesteine sind häufig von gelbgrünem Epidot ausgefüllt, einem augenscheinlichen Auslaugungsprodukte.

h) Rutil und Erze.

Der Rutil erscheint in derselben Ausbildungsweise wie in den Eklogiten und ist, wie dort, stets vorhanden. In Varietäten mit etwas gröberem Grundgewebe, wo die faserige Hornblende schon besser optisch faßbar wird, also den Übergangsgliedern zu Typus II, zeigt sich zuweilen ein schmaler Titanomorphitring um den Rutil, wie er dann im Typus II die Regel wird.

i) Glimmer.

Der hellbraune Biotit, wie wir ihn schon in den Eklogiten getroffen haben, findet sich auch sehr häufig im Typus I. Wie dort vertritt er fleckweise die Hornblende der Grundmasse. Ganz vereinzelt tritt auch ein größeres Schüppchen farblosen Glimmers auf, vielleicht nur ein ausgebleichter Biotit, vielleicht auch zu jenen kalk-

reichen Glimmern gehörig, welche Sandberger (59) aus Eklogiten untersucht hat.

5. Krystalloblastische Reihe der Mineralien des Typus I.

Granat, Rutil, Zoisit, Pyroxene (als Einschlüsse), Pyrit, Magnetit, Hornblende (größere Körner), Epidot, Quarz, Plagioklas.

6. Chemismus des Typus I.

Eine Analyse wurde an einem Gestein vom Burgstein ausgeführt. Sie stimmt gut mit den Eklogitanalysen desselben Gebietes überein. Die erhaltenen Zahlen sind folgende:

	Sodaaufschlüsse	Flußsäureaufschlüsse	Mittel
SiO_2	48·22	—	48·22
TiO_2	1·12	1·02	1·07
Al_2O_3	16·42	16·61	16·51
Fe_2O_3 . . .	2·50	2·79	2·64
FeO	—	5·78	5·78
CaO	13·43	13·49	13·46
MgO	8·26	8·26	8·26
K_2O	—	0·47	0·47
Na_2O	—	3·23	3·23
H_2O unter 110°		—	—
H_2O über 110°		0·66	0·66
			100·30

Spezifisches Gewicht 2·979.

Die Analyse stimmt gut mit den Eklogitanalysen des Gebietes überein und hat wie diese vollkommen den chemischen Charakter eines Gabbrogesteins. Bezüglich des ursprünglich zugrunde liegenden Eruptivgesteines kann auf die Auseinandersetzungen im Kapitel über die Eklogite verwiesen werden, da keine wesentlichen Abweichungen vorhanden sind. Der Gang der Metamorphose wurde bei der Betrachtung der einzelnen Bestandmineralien unseres Eklogit-Amphibolits verfolgt. Vom Eklogit herübergenommen sind die Reste des Omphazits, die rhombischen Pyroxene, der Granat, der Rutil, ein Teil des Erzes und vielleicht der Zoisit, da in den Eklogiten vereinzelt dieselben Züge seitlich gut begrenzter Zoisitsäulchen zu treffen sind. Sekundär in bezug auf den umgewandelten Eklogit und gegenüber dem

ursprünglichen Gabbrogestein tertiär sind Hornblende, Plagioklas, ein Teil des Magnetits, Epidot, Glimmer und Quarz.

7. Bildungsbedingungen des Typus I.

Kataklastische Phänomene sind bei Typus I viel seltener und viel weniger ausgesprochen als bei den Eklogiten und erstrecken sich meist nur auf eine mehr oder wenigèr deutliche undulöse Auslöschung bei Quarzen, Hornblenden und Pyroxenen. Besonders in den Schlieren rhombischen Pyroxens, welche zuweilen den Granat umschmiegen, wird die undulöse Auslöschung auffallend; aber hier bleibt es zweifelhaft, ob sie von einem Spannungszustand im Mineralkorn herrührt, also von direkter mechanischer Beeinflussung, oder ob sie das Resultat von Krystallisationsschieferung ist, wobei der „Stress" durch den Widerstand des Granatkorns einige Ablenkung erfuhr. Gebrochene Krystalle sind in Typus I sehr selten, Trümmerstruktur fehlt vollständig.

Die durch streifige Anordnung gewisser Komponenten parallel struierten Varietäten unterscheiden sich weder durch die Art noch durch die Formenentwicklung des Mineralbestandes von den ganz massigen. Dies beweist aber wohl weniger, daß die Ausbildungsweise der Bestandmineralien nicht von der Art des Druckes beeinflußt wurde, als vielmehr, daß „Stress" niemals zur vollen Entfaltung kam, denn eigentliche Schieferung tritt nirgends auf; nur schlierige Anordnung der körnig entwickelten Mineralien und die diablastischen Strukturen weisen auf die Unmöglichkeit des Ausweichens nach einer oder zwei Richtungen hin. Becke bemerkt darüber in der Gneisformation pag. 286: „In gegenseitiger paralleler Durchdringung und Verwachsung können wir die Spuren einer Krystallbildung in gänzlich eingeengtem Raum bei sehr gehinderter Beweglichkeit der Moleküle erkennen." Der Druck bei der Bildung von Typus I nähert sich also dem hydrostatischen. Darauf weist auch die ungleiche Größe der Komponenten hin (van Hise), während die spärlichen kataklastischen Spuren zeigen, daß die mechanische Beeinflussung fast vollkommen durch chemische Reaktionen kompensiert werden konnte. Die Tiefenstufe der Entstehung erhellt den Mineralbestand. Pyroxen ist nicht beständig, sondern geht überall in Amphibol über, die hydrierten Komponenten nehmen im Vergleich zu den Eklogiten an Menge zu, so die Glimmer, Zoisit und Epidot, und auch die

Analyse der Hornblende hat $^1/_2\%$ Krystallwasser ergeben; doch bleiben es stets solche, welche ihr Wasser gerne festhalten, also auch noch in größerer Tiefe bestehen können. Der Entstehungsrayon von Typus I mag also wohl der obere Gürtel der tiefern Zone sein.

B. Eklogit-Amphibolit des Typus II.

Der Typus II findet seine schönste Entwicklung am Burgstein, sowohl in der Schutthalde, wo er neben dem Eklogit ein großes Kontingent der Trümmer stellt, als auch anstehend am nördlichen Aufstieg, wo er mit Typus I, Kelyphitamphiboliten und gewöhnlichen Amphiboliten wechsellagert. Im Profil Sölden ist der Typus II nur spärlich vertreten und durch Übergänge mit dem Eklogit schon makroskopisch verknüpft.

1. Übergangsglieder zwischen den beiden Typen.

Mit Typus I ist er durch Zwischenglieder verbunden, welche makroskopisch dadurch gekennzeichnet sind, daß grüne, immer noch sehr feinkörnige Flecken in der hellen Grundmasse auftreten, welche eine Vergröberung der diablastischen Gebilde bedeuten, verbunden mit einer mehr körnigen Entwicklung der Hornblende; oder es wird die ganze nephritische Grundmasse grünlich, dunkler und weniger dicht. Solche Stücke zeigen mikroskopisch die grüne Hornblende des Grundgewebes deutlich als solche.

2. Makroskopischer Habitus des Typus II.

Vom Typus I unterscheidet sich der zweite Typus durch dunklere, mehr graugrüne Farbe und durch weniger dichtes, mehr feinkörniges Gefüge. Paralleltextur fehlt ganz; das Gestein ist stets massig. Die Granaten sind auch hier einsprenglingsartig eingestreut, doch treten die Hornblenderinge wegen der dunkleren Grundmasse nicht so auffallend hervor. Wo die diablastischen Gebilde sehr fein geblieben sind, erscheinen hellere, dichte Flecken im Grundgewebe; Ansammlungen größerer Hornblendekörner geben sich als dunkelgrüne, gröber körnige Stellen kund und wo sich größere Strahlsteinkomplexe gebildet haben, erscheinen gröberkörnige graugrüne, seidenglänzende Flecken. Die seltenen Zoisitzüge treten in weißen Partien hervor. Charakteristisch für den Typus II ist also das sehr ungleiche Korn und die dadurch veranlaßte fleckige Entwicklung der Grund-

masse, welche beim Typus I gleichmäßig dicht und meist von einheitlicher Farbe ist. Je größer die erhaltenen Pyroxenkerne geblieben sind, desto körniger und heller ist das Gestein, desto mehr gleicht es dem Eklogit.

3. Mineralbestand.

a) Die Hornblende.

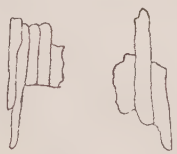
Die Übergangsglieder vom reinen Eklogit in den Typus II sind noch reichlicher und deutlicher vorhanden als beim Typus I. Während bei letzterem die Zerfaserung des Omphazits fein und unfaßbar bleibt bis das ganze Mineralkorn aufgezehrt ist, wird beim zweiten Typus die sich aus dem Pyroxen entwickelnde Hornblende umso gröber, je breiter der sich bildende Rand, je kleiner der übriggebliebene Omphazitkern ist. Ganz nahe am Korn bleibt die feine, graue, filzige Ausbildung meist bestehen, mit der Entfernung von ihm vergröbert sie sich. Daneben kommt es vor, daß sich in kleineren Komplexen die echte nephritische Grundmasse entwickelt, während der Hauptteil des Grundgewebes gröber und weniger faserig, sondern mehr körnig wird. Größere Amphibolindividuen differenzieren sich überall heraus, teilweise nicht scharf im Grundgewebe liegend, sondern durch einen Hof mittlerer Körner in allen Größenabstufungen mit dem Grundgewebe verbunden. Je mehr die Omphazitkerne verschwinden, desto reichlicher treten Stellen auf, wo letzteres deutlich als Verwachsung von grüner Hornblende und Plagioklas erscheint, die kryptodiablastische Struktur geht in eine „mikrodiablastische“ (Becke) über; die Hornblende der Verwachsungen ist stets grün, wenn auch von sehr verschiedener Farbenintensität. Farblose Körner sind nur einsprenglingsartig eingestreut. In der Granatnähe ist die Hornblende wieder am intensivsten grün. Wegen der Verdrängung des Omphazits durch das grüne Grundgewebe muß natürlich an ein Hervorgehen des letzteren aus dem ersteren gedacht werden, wobei wohl der Granat wieder Eisen liefern mag. Daneben tritt aber auch hier echte Uralitisierung auf.

Mittlere Formen zwischen den echt körnigen und diablastischen Hornblenden sind durchlöcherte und zerfressen aussehende, obgleich ganz frische Körner.

Ein Gestein von Typus II ist offenbar der früher erwähnte von Lacroix (12) beschriebene Eklogit von der unteren Loire. „Die Ränder des Pyroxens setzen sich in wurmförmige Amphibol-

gebilde um, zwischen welchen sich Albit-Oligoklas entwickelt und wo der Pyroxen sich in ein Gewirr von Amphibolfasern umgewandelt hat, steckt solcher Feldspat als Untergrund dazwischen.“ Auch der von J. J. H. Teall untersuchte, erste in England gefundene „Eklogit“ scheint hieher zu gehören. Der Granat ist bei ihm von grüner Hornblende umgeben, der Omphazit ist häufig mit Hornblende und Plagioklas verwachsen, welch letzterer spärliche isolierte Flecken zwischen den übrigen Gemengteilen bildet.

Die Natur der Hornblende ist ebensowenig konstant wie in Typus I; die diablastische ist stets grün, aber von sehr wechselnder Intensität der Farbe; die körnige und uralitische ist grün oder farblos, oft sogar in demselben Schliff. Hellgrüne Individuen mit dunkleren, unregelmäßigen Flecken sind nicht selten. Im allgemeinen bleibt aber doch in demselben Vorkommnis entweder grüne oder farblose Hornblende vorherrschend. Die Formen des Minerals, soweit es sich nicht



um Uralit handelt, der die ganzrandige, prismatische Gestalt des Omphazits beibehält, tendieren selten nach prismatischer Entwicklung. Es sind rundliche, meist aber buchtige oder zackige Körner, wobei die Unregelmäßigkeit der Form sich von den Spaltrissen abhängig zeigt. Wo die Zerfaserung gröber wird, erhält sie sehr oft vollkommen den Charakter mikropegmatitischer Verwachsung von Hornblende und Plagioklas. Die Doppelbrechung der Hornblende, besonders der diablastischen, ist nicht hoch. Im allgemeinen wächst sie wohl mit abnehmender Farbentiefe; doch zeigen in Präparaten, wo sich grüne Körner mit farblosen mischen, auch erstere die schöne chromatische Polarisation des Strahlsteins. Bemerkenswert ist, daß die stärker doppelbrechenden Omphazitarten auch stärker doppelbrechende Hornblenden liefern, die schwächer doppelbrechenden umgekehrt ebensolche Hornblenden.

Die Polarisationsfarbe der farblosen Hornblende geht bis auf das leuchtende Gelbgrün 2. Ordnung, was nach der Weinschenkschen Tabelle einer Doppelbrechung $\gamma—\alpha$ von 0·027 entspricht. Die Aus-

löschungsschiefe auf dem seitlichen Pinakoid c:c beträgt 18°. Dies spricht für Strahlstein oder doch strahlsteinartige Hornblende.

Die grünen Abstufungen des Minerals haben ohne Ausnahme den Pleochroismus c blaugrün, b grün, a gelbgrün, in der ihrer Farbentiefe entsprechenden Deutlichkeit. Die Absorption ist stets $b = c > a$. Für die Bestimmung der Auslöschungsschiefe wurden wieder zwei Typen, ein blaßgrüner und einer von tieferem Grün, herausgegriffen; allein, wie die Farbe, so ist auch die Größe der Auslöschungsschiefe und die Doppelbrechung nicht fest begrenzt; die Hornblende ist, wie der Omphazit, optisch und wohl auch chemisch, nicht eine scharf bestimmte Art, sondern von sehr wechselnder isomorpher Mischung.

Für die Auslöschungsschiefe der blaßgrünen Hornblende c:c auf Schnitten, welche sich dem seitlichen Pinakoid näherten, wurden folgende Zahlen gefunden: 22°, 23°, 22°, 22°, 19°, 21°, Mittel 21°; $\gamma - \alpha = 0{\cdot}023$.

Die Auslöschungsschiefen des dunkleren Typus auf derselben Fläche waren:

24°, 24°, 24°, 24°, 21°, 23°, 21°, 21°, 25°, 21°,
25°, 22°, 22°, 20°, 20°, 20°, 25°, 22°, 21°, 25°, 23°,

Mittel 23°; $(\gamma - \alpha) = 0{\cdot}022$.

Die Hornblende um den Granat bleibt im Typus II meist körnig und bildet einen kompakten Ring. Doch ist auch hier eine Tendenz zu radialer Anordnung bei leistiger Ausbildung des Minerals unverkennbar, besonders auf der Innenseite der Umhüllungszone gegen den Granat hin. Je gröber die Hornblende des Grundgewebes entwickelt ist, desto ausgeprägter wird die radiale Ausbildung der Granathülle, desto mehr nimmt sie die Formen echten Kelyphits an. Für die Beziehung der Umhüllungszone zum Kern gelten die Betrachtungen, welche bei Typus I an diese Erscheinung geknüpft wurden. Sie gibt sich durch dieselben Formen als eigentlicher „reaction rim" kund, für welchen das umhüllte Mineral wohl den Hauptteil der Substanz liefert, der aber nicht ohne chemische Wechselwirkung dieser mit den Stoffen angrenzender Komponenten zustande kommt.

b) Der Granat.

Der Granat weicht in nichts von dem des Eklogits und des Typus I ab. Innere einschlußreiche Teile mit äußerer einschlußbarer

Zone sind die Regel. Vereinzelt wurde ein von Hornblende und Magnetit umrandeter Kern beobachtet, auf welchen eine ebenso umhüllte neue Granatzone folgte, ein Beweis für den Wechsel der Gleichgewichtslagen, dem das Gestein unterlag. Die Einschlüsse sind dieselben wie im Eklogit, nur erscheinen Zoisit und Epidot häufiger darunter.

c) Die Akzessorien.

Der die Zwischenmasse bildende Plagioklas konnte wegen der Feinheit der Verwachsung mit Hornblende auch im Typus II noch nicht bestimmt werden. Seine Einreihung unter die Akzessorien ist übrigens nur in seinem spärlichen und wechselnden Vorkommen begründet, denn chemisch und genetisch gehört er notwendig zum Gesteine, als das Mineral, in welchem beim Übergang des Omphazits in die Hornblende die überschüssige Tonerde und die Alkalien niedergelegt werden. Das gleiche gilt vielleicht von den sehr häufig mit schmalem Hornblendering umgebenen Quarzkörnern, die wie im Typus I das Plus an Kieselsäure des Pyroxens gegenüber dem Amphibol repräsentieren. Rutil, mit Eisenerz verbunden, hat sich aus dem Eklogit unverändert erhalten, zuweilen mit schmaler Titanomorphitumrandung; nur ist das Erz im allgemeinen etwas reichlicher vorhanden.

Epidot ist spärlich in die diablastischen Gebilde eingestreut in kleinen unregelmäßigen Fetzchen.[1]) Zoisit in denselben Zügen blaugrauer Säulchen, wie sie bei Typus I beschrieben wurden, tritt auch zuweilen im Typus II auf, doch immer in den Varietäten, die schon ein Zwischenglied zwischen den beiden Typen bildet. Der β-Zoisit übertrifft auch hier den α-Zoisit bedeutend an Menge.

4. Krystalloblastische Reihe der Mineralien des Typus II.

Rutil, Granat, Zoisit, Omphazit, Erze, Hornblende, Epidot und Quarz, Plagioklas.

5. Chemismus des Typus II.

Die Analyse wurde an einer schon vollkommen omphazitfreien Varietät von Burgstein ausgeführt. Der auffallend hohe SiO_2-Gehalt ist den kleinen Quarzaggregaten und einzelnen Quarzkörnern zuzu-

[1]) Epidotschnüre als Rißausfüllung sind Verwitterungsprodukte.

schreiben, welche das Gestein reichlich erfüllen und welche wohl nur als Ausfüllung sekundär entstandener Hohlräume gelten können.

	Sodaaufschluß	Flußsäure-aufschluß	Mittel
SiO_2	53·77	—	53·77
TiO_2	1·17	1·20	1·19
Al_2O_3	14·42	14·60	14·51
Fe_2O_3	3·44	3·66	3·55
FeO	—	8·43	8·43
CaO	8·65	8·64	8·64
MgO	5·38	—	5·38
K_2O	—	0·87	0·87
Na_2O	—	2·76	2·76
H_2O	—	0·15	0·15
H_2O	—	0·30	0·30
			99·55

Spezifisches Gewicht 3·24.

6. Bildungsbedingungen des Typus II.

Was sich im zweiten Typus an kataklastischen Spuren findet, undulös auslöschende und zuweilen gebrochene Omphazite, scheint durchaus vom Eklogit herübergenommen worden zu sein. Das gleiche gilt von der gleichgerichteten Lage der Omphazite, die fast die einzige Andeutung einer Paralleltextur ist. Die Entstehung des zweiten Typus aus dem Eklogit ist demnach das Produkt rein chemischer Metamorphose, oder die chemische Umwandlung hielt wenigstens vollkommen gleichen Schritt mit der mechanischen. Daß die Zerfaserung und Amphibolisierung durch das die Kapillaren oder Subkapillaren zwischen den Mineralkörnern füllende Wasser hervorgebracht wurde, geht daraus hervor, daß die Erscheinung zu beiden Seiten von Rissen im Gestein am weitesten fortgeschritten ist und daß zertrümmerte Körner, welche die Zirkulation des Wassers am leichtesten gestatten, auch die breiteste graue Randzone besitzen. Auch die ungleiche Verteilung von Omphazitkomplexen mit oder ohne wolkigen Rand bedeuten wohl Stellen leichteren oder schwereren Wasserzutritts. Auch beim Granat beginnen ja die Umwandlungen vom Rande und von Rissen aus.

Das Fehlen der Schieferung und die Ausbildung der diablastischen Struktur weisen auf annähernd hydrostatischen Druck hin. Für den Mineralbestand ist wieder das Verschwinden des Pyroxens, seine Ersetzung durch Hornblende und Plagioklas und das reichlichere Auftreten wasserhaltiger Substanzen charakteristisch. Es folgt daraus, daß die durch den zweiten Typus gegebene Gleichgewichtslage einer weniger großen Tiefe angehört als die Entstehungszone des Eklogits.

7. Gesteine anderer Lokalitäten vom Charakter des 2. Typus.

Von den Gesteinen anderer Lokalitäten kann der vielerwähnte Eklogit von der Saualpe als Übergangsglied vom reinen Eklogit zum zweiten Typus gelten. Der von Becke beschriebene Eklogit von Altenburg im Waldviertel gehört ebenfalls hieher und eine sehr interessante Varietät ist der „Pyroxenamphibolit“ (Becke) von Aschauer.

Der Eklogit von der Saualpe wurde schon von Riess (1) beschrieben; doch wird die sehr auffallende Zerfaserung des Omphazit und die daraus hervorgehende leistige grüne Hornblende, die auch hier Plagioklaszwischenmasse zu besitzen scheint, als Verwachsung von Omphazit und Smaragdit gedeutet. Genau dieselbe Hornblende erscheint indessen auch in großen, länglichen, schon makroskopisch wahrnehmbaren Körnern in engster Verbindung mit der diablastischen in der Weise, daß große Individuen an einem Ende oder von irgend einer Stelle des Randes aus sich in ein faseriges Aggregat auflösen. Es ist dies die in der Literatur vielgenannte schwarze Hornblende des Eklogits von der Saualpe, der Karinthin. Im Schliff erscheint er sehr hellgrün (c hellbläulichgrün, b grünlich, a hellgelb), fast strahlsteinartig nach seinem optischen Verhalten. Pleochroismus und Absorption ($c = b > a$) sind sehr wenig ausgeprägt. Übrigens ist die Farbe auch beim Karinthin nicht konstant; hellere und etwas dunklere Körper treten nebeneinander auf; wahrscheinlich handelt es sich auch hier nicht um eine fest begrenzte Amphibolspezies, sondern um einen schwankenden Typus. Die Auslöschungsschiefe $c:c$ auf (010) ist $15 - 16^0$; die maximale Doppelbrechung 0·027. Zwei in Rosenbuschs „Elemente“ aufgenommene Analysen des Karinthins, wahrscheinlich zwei verschiedene Stellen des obigen Vorkommnisses betreffend, zeigen bei sonst wesentlicher Übereinstimmung des chemischen Gehaltes eine Abweichung im Eisengehalt von etwa 11%

(17·44% in der einen Analyse gegen 6·53% in der anderen, alles Fe als FeO berechnet). Die Tonerde schwankt zwischen 8½% und 12½%. Zahlen, welche den Karinthin unzweifelhaft unter die gewöhnliche Hornblende einreihen lassen. Dem Granat, der in kleinen rundlichen Körnern gleichmäßig im Gestein verteilt ist, fehlt die sonst diese Strukturform so regelmäßig begleitende grüne Umrandung vollständig. In bezug auf die übrigen Komponenten und das ganze Gesteinsbild kann auf Riess' (1) Darstellung verwiesen werden, nur ist der dort angeführte Zirkon zweifellos Rutil.

Der Eklogit von Altenberg gehört nur in einzelnen omphazitreichen Varietäten hieher; diejenigen Formen, welchen der Pyroxen beinahe oder ganz fehlt, weichen auch strukturell stark von den pyroxenreichen ab. In letzteren ist der Omphazit in ein Fasergewirr aufgelöst, das nach Komplexen einheitlich auslöscht. Die Ränder dieser Komplexe, besonders da, wo sie an den Granat stoßen, werden gröber und körnig und an die Stelle des Omphazits ist grüne Hornblende getreten. Auch im Innern der Faser- oder Gekörnelaggregate ersetzt grüne Hornblende nicht selten das Pyroxenmineral. Plagioklas als Zwischensubstanz ist kaum wahrnehmbar, doch schreibt Becke den nach der von Max Schuster ausgeführten Analysen vorhandenen Alkaligehalt von etwa 2% (0·17 K_2O und 1·75 Na_2O) „dem im Omphazit eingeschlossenen Feldspat" zu. Dieser letztere ist dabei doch wohl als Teilnehmer an der diablastischen Struktur zu deuten. Dadurch, daß diese an der Granatgrenze gröber und körniger wird und dadurch, daß an Stelle des Omphazits grüne Hornblende tritt, entsteht ganz wie bei den Ötztaler Vorkommnissen eine kompakte Körnerzone um den Granat, die gewiß auch hier aus der Wechselwirkung zwischen diesem und dem Pyroxen zu erklären ist. In der Nähe der Erz- und Rutilkörner, welch letztere auch stets von Titaneisen umgeben sind, ist die Hornblende braun, und zwar verschwindet die braune Färbung allmählich mit der Entfernung vom zentralen Korn.[1]) Wahrscheinlich wird dieser braune Hof durch Ferriausscheidung hervorgerufen.

Der Pyroxenamphibolit vom Aschauer stimmt strukturell ganz auffallend mit dem Gesteine von Altenburg überein, nur daß das von der Zerfaserung (hier mehr Körnelung) betroffene Pyroxenmineral

[1]) Das Erz-Rutilkorn erscheint dadurch von einer verlaufenden braunen Zone umgeben.

von diallagartigem Habitus und die es ersetzende Hornblende tiefbraun ist. Aber das Bild des Auflösungs- und Umwandlungsvorganges ist in beiden Gesteinen sehr ähnlich: einheitlich auslöschende, gegen den Rand hin größer werdende und hornblendisierte Pyroxenaggregate. Auch hier zeigt sich die Hornblende nicht selten schon im Innern der diablastischen Komplexe, die gegen die Ränder hin deutliche Plagioklas-Zwischensubstanz erkennen lassen. Die Auslöschungsschiefe des Pyroxens c:c auf (010) geht nicht über 40° hinaus; die Farbe ist lichtbräunlich. Die Hornblende ist stark pleochroitisch (c braun, b braungelb, a gelb); die Absorption ist groß: $c > b < a$. Rötlichbrauner Biotit tritt häufig neben der Hornblende auf. Die Schwingungen || der Spaltbarkeit erzeugen dunkelschokoladebraune Töne, die $\perp$ dazu gelbbraune. Die knolligen, sehr kleinen Granatkörner sind scharf begrenzt, ohne Spur irgend eines Hofes. Akzessorien sind reichliches Erz, Apatit und seltener Quarz. Plagioklas macht etwa ein Fünftel der Gemengteile aus und erscheint als Füllmasse zwischen allen übrigen Komponenten. Er ist meist schmal lamelliert. Manchmal zeigt er das Albit und Periklingesetz an demselben Individuum. Die Messung symmetrischer Auslöschungsschiefen ergab folgende Zahlen:

$$\left.\begin{matrix}18\\17\end{matrix}\right\} 17^1/_2{}^0 \quad \left.\begin{matrix}13\\13\end{matrix}\right\} 13 \quad \left.\begin{matrix}12\\14\end{matrix}\right\} 13$$

Der Plagioklas gehört also wohl zum Andesin ($Ab_2 An_1$ bis $Ab_4 An_3$).

C. Uralitisierung und Beziehungen von Hornblende und Pyroxen in Pyroxenamphiboliten.

Ein dritter Typus der Amphibolitisierung von Eklogit ist durch reine Uralitisierung des Omphazits gegeben. Im Ötztal wurde dieser Typus nirgends konstatiert; doch scheint er in den Eklogit-Amphiboliten der Aiguilles rouges vertreten zu sein, wo nach Jukowsky Uralitisierung des Pyroxens stattfindet. Welche Definition er diesem Begriffe zugrunde legt, ist zwar nirgends gesagt, aber da von mikropegmatitartigen Verwachsungen (den charakteristischen Merkmalen der ersten Typen) nirgends die Rede ist, so wird es sich wohl um echte Uralitisierung handeln. Im Eklogit von Jaufenberg haben wir ein Übergangsglied zum dritten Typus kennen gelernt; in dem Gestein vom Schauenstein im Waldviertel ein schönes Beispiel desselben.

Die häufige genetische Beziehung von Pyroxen und Hornblende in Eklogiten und Amphiboliten erregt das Interesse für das Wechselverhältnis der beiden Mineralien in den Pyroxenamphiboliten überhaupt. Als Glieder der Augitgruppe, welche in Amphiboliten erscheinen, werden angegeben:

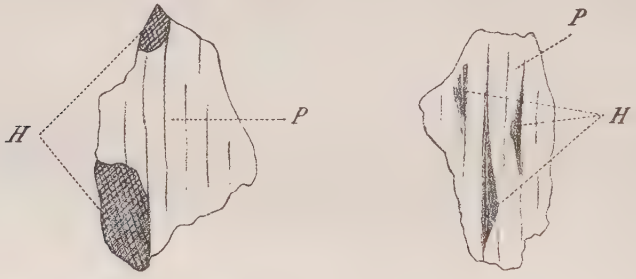
1. Diallag (Becke, Waldviertel, Ippen, Bachergebiet).

2. Salit (Becke, Waldviertel, Ippen, Bachergebiet, Kalkowsky, Raspenau in Böhmen, Cross, Finisterre).

3. Malakkolith (Ippen, Bachergebiet).

4. Nicht schärfer klassifizierte monokline Pyroxene (Patton, Marienbad, Schalch, Schwarzwald).

5. Bronzit (Sauer, Schwarzwald, Bucca, Kalabrien).



(Vergleiche pag. 19.)

Zu den Diallagamphiboliten rechnet Becke das Gestein von Schauenstein und hält die dort den Diallag vielfach vertretende braune Hornblende für selbständig, während er eine in kleinen, grünlichen Körnern vorkommende als Umwandlungsprodukt des Diallags anspricht. Indessen ist wahrscheinlich auch die braune Hornblende aus dem Diallag hervorgegangen und die Farbendifferenz der beiden Varietäten rührt wohl nur von einer Beeinflussung durch den Granat her. Folgende Gründe sprechen für diese Auffassung:

1. Die braune Hornblende nimmt oft Flecken und Stellen innerhalb des Diallagumrisses ein.

2. Entlang den Spaltrissen des Pyroxens ziehen sich verlaufende und sich manchmal auskeilende Streifen der braunen Hornblende, die Diallagsubstanz ersetzend.

3. Die grünliche Hornblende erscheint in der Regel in der Granatnähe.

Über die Beziehung des Diallags zum Amphibol in den hieher gehörigen Gesteinen des Bachergebietes macht Ippen keine Angaben. Salit- und Malakkolith-Amphibolite kenne ich nicht genauer durch Autopsie. Aber nach Beckes und Pattons Beschreibung wechseln bei den Salitamphiboliten häufig Lagen von Salit und Plagioklas mit fast reinen Hornblendelagen, ein Umstand, der mehr für bloße Paragenesis der beiden Mineralien spricht. Ihr Verhältnis wird von den erwähnten Autoren offenbar auch so aufgefaßt.

Über die Schwarzwälder Pyroxenamphibolite äußert sich Schalch folgendermaßen: „Während der Pyroxen bei einer größeren Anzahl von Vorkommnissen gänzlich vermißt wird, kann er bei andern die Hornblende größtenteils oder ganz ersetzen. Der immer wiederkehrende Zusammenhang (dieses Typus) mit an Augit armen oder freien Gesteinspartien läßt jedoch erkennen, daß man es lediglich mit einer extremen Abänderung eines einheitlichen Gesteinstypus zu tun hat, wie denn tatsächlich in einem und demselben Vorkommen die Menge des Pyroxens, derjenigen der Hornblende gegenüber, je nach den einzelnen Gesteinslagen, sich als eine recht schwankende und unbeständige erweist."

Kurz hinter dem Örtchen Mauren an der Straße nach Peterstal im Renchtale erscheint rechts am Wege ein gut aufgeschlossenes Amphibolitvorkommnis. Das Gestein ist zuerst dunkelgrün, feinkörnig und erweist sich als ein gewöhnlicher Feldspatamphibolit mit gabbroider Struktur. Gegen das Ende des Aufschlusses wird das Gestein hellgraugrün, während Korn und Struktur konstant bleiben. Der Amphibolit ist in ein fast reines Pyroxen-Plagioklasgestein übergegangen, das aus stark angegriffenem basischen Plagioklas und einem mikroskopisch farblosen Augit besteht, dessen Auslöschungsschiefe c : c bis auf 45° geht. Titaneisen und Titanit sind fast die einzigen Akzessorien. Grüne Hornblende in der kurzen gedrungenen Form des Pyroxens, manchmal wie dieser zerstückelt und anscheinend nach den Spaltrissen in Zerfall begriffen, ersetzt an einzelnen Stellen den Augit. Es handelt sich dabei ohne Zweifel um echte Uralitisierung; denn nicht selten ist eine Partie eines Augitkrystalls hornblendisiert, so daß die Hornblende die Hälfte oder auch nur ein Eckchen des Pyroxenindividuums einnimmt.

Amphibolisierung des Pyroxens ist also bei Eklogiten und Amphiboliten ein so weitverbreiteter Vorgang, daß er fast zu den regelmäßigen Erscheinungen gerechnet werden muß.

III. Kelyphit-Amphibolite.

I. Vorkommen.

Mit dem Kelyphitamphibolit treten wir in die Reihe der pyroxenfreien Amphibolite ein. Unter seinen Akzessorien wird zwar ganz vereinzelt noch hier und da ein Individuum dieser Mineralgruppe gefunden, aber es ist stets stark angegriffen, zum großen Teil durch Hornblende verdrängt und trägt den Charakter eines schlecht erhaltenen Restes aus einem früheren Gleichgewichtszustande.

Die Kelyphitamphibolite schließen sich an den Typus II an, mit welchem sie durch Übergangsstadien verknüpft sind. Die ihnen eigentümlichen Charaktere sind wieder hauptsächlich an die Hornblende gebunden, sowohl an die selbständige als an die die Granathülle bildende und an den mit ihr verwachsenen Plagioklas. Im Ötztal fehlt der Kelyphitamphibolit an keiner der studierten Lokalitäten; doch tritt er im Sulztal und in der Schutthalde am Burgstein mehr zurück, wogegen er am Burgstein (nördlicher Aufstieg) reichlich ansteht, immer in naher Verbindung mit Typus II und mit ihm in Wechsellagerung Typus I und Eklogit. Auch im Steinbruch Marberger bei Umhausen wurde er geschlagen, dort allerdings in weniger typischer Entwicklung und verbunden mit Amphiboliten von gabbroider Struktur. In vollkommenster Ausbildung bringt ihn der Wildbach, der nördlich von Aschbach am rechten Talgehänge ein gigantisches Trümmerfeld gehäuft hat. Auch in den Schuttkegeln über der Breitlehner Alpe ist er nicht selten.

Außer den Ötztaler Vorkommnissen kenne ich Kelyphitamphibolit aus eigener Anschauung noch aus dem Mont Blanc-Gebiete und aus dem Schwarzwalde.

In der Literatur wird er vielfach erwähnt und beschrieben; von Becke (6) aus dem Waldviertel und von Schalch (18) aus dem Schwarzwalde. Drasche (2) kennt ihn als Begleiter der Eklogite des Fichtelgebirges; Holland (34) aus dem Himalaya. Letzterer glaubt, daß er aus einem ursprünglich Pyroxen- und Plagioklas führenden Gestein hervorgegangen ist, das durch Hornblendisierung des Augitminerals zu Hornblendeschiefer geworden ist. Der Kelyphitkranz um den Granat besteht nach ihm aus zwei Zonen, einer inneren, welche aus Hornblende-Plagioklas und einer äußeren, welche aus Magnetit besteht. Der Kelyphitring ist nach ihm ein Übergangs-

stadium des Pyroxens in Granat; derselbe soll auf Kosten der aus dem ersteren hervorgegangenen Hornblende wachsen. In einem Gerölle bei Hrubschitz in Mähren beobachtete Barvir (14) eine aus zwei Zonen bestehende Umhüllung des Granats. Die innere Zone besteht aus stengeligem, radial gestelltem Diopsid und Plagioklas, die äußere aus Hornblende und Plagioklas. Die Grenze der äußeren Zone ist rhombendodekaëdrisch, woraus Barvir auf eine Umwandlung des Granats schließt, wobei Magneteisen ausgeschieden und Quarz verbraucht wird, denn die Einschlüsse des letzteren Minerals verschwinden im Kelyphitring. Nach Dathe (17) steht am Elbersbach bei Waldheim ein „Eklogit" (Granatamphibolit) an, um dessen Granaten sich grüne, zungenförmige Blättchen gruppieren, die Dathe für Chlorit hält, vermischt mit Magnesiaglimmer. Diese Zone ist nach dem Verfasser ein Umwandlungsprodukt des Granats.

Die Hauptbestandteile des Kelyphitamphibolits sind grüne Hornblende, Granat und Plagioklas. Farbloser Amphibol fehlt vollständig. Akzessorien sind Quarz, Epidot, Zoisit, Pyroxen, Biotit, Apatit, Rutil, Titanit, Magnetit, Pyrit und Kalkspat.

2. Vergleich mit Typus I und II der Eklogit-Amphibolite.

Die für den Kelyphitamphibolit charakteristische Struktur ist hauptsächlich an die grüne Hornblende gebunden. Durch sie erscheint er wesentlich als Fortentwicklung des obigen Typus II, indem der dort fast überall noch vorhandene Omphazit vollständig durch ganz phaneromere mikropegmatitartige Verwachsungen von Hornblende und Plagioklas ersetzt ist, während diese Verwachsungen dort nur Randzonen um den Pyroxen bildeten. (Tafel IV, Figur 5.) Hauptsächlich unterscheidend ist die meist streng radiale Anordnung der Umhüllungszone des Granats, die bei den Eklogitamphiboliten unorientiert und körnig und nur manchmal mit geringer Tendenz nach zentrischer Entwicklung auftrat. Von den Eklogitamphiboliten vom Typus I, bei welchen die Omphazitkerne sehr oft auch schon ganz oder nahezu ganz ersetzt waren, ist der Kelyphitamphibolit durch die viel gröbere Entwicklung der diablastischen Struktur unterschieden; die Grundmasse erscheint makroskopisch überall dunkelgrün; der nephritische Habitus fehlt. Farblose Hornblende fehlt stets. Eisenerz ist immer sehr reichlich im Gesteine verteilt, dessen Entstehung durch diese Regelmäßigkeit an ein gewisses Eisen-

quantum gebunden scheint. Die Art der Abweichungen von den vorigen Typen, besonders der Kelyphit, machen es unwahrscheinlich, daß es sich um eine wirkliche Herausbildung des einen Gesteins aus dem anderen handelt, als vielmehr um die vollkommenere Entfaltung einer einmal vorhandenen Tendenz unter günstigeren Entwicklungsbedingungen. Die Übergangsglieder zwischen allen Arten sind damit wohl vereinbar.

3. Makroskopisches Bild des Kelyphitamphibolits.

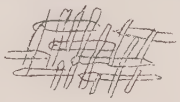
Auch makroskopisch schließen sich die Kelyphitamphibolite eng an den 2. Typus der Eklogitamphibolite an. Es sind dunkelgraugrüne bis schwarzgrüne, massige oder undeutlich geschieferte Gesteine von feinem bis mittlerem Korn. Der porphyrartige Charakter ist um so weniger ausgesprochen, je gröber die diablastischen Strukturen sind und je mehr körnige Hornblenden und Plagioklase vorherrschen; denn umsoweniger erscheint das Grundgewebe grundmassenartig. Die Stellen feiner, verwachsener Komplexe sind makroskopisch durch ihre graugrüne Farbe und ihr dichteres Gefüge erkennbar. Die Größe des Granates wechselt stark. Gewöhnlich geht sie nicht über Hirsekorngröße, doch wurden bei Aschbach und auf den Breitlehneralpen Varietäten mit erbsengroßen Granaten gefunden. Der Kelyphitkranz ist immer dunkler als seine äußere Umgebung, tritt aber nicht auffällig hervor. Manchmal erscheint die innerste, plagioklasreiche Zone als weißer Ring. Wenn die Granaten zum größten Teil aufgezehrt sind, tritt an ihre Stelle ein dunkelgrüner, rundlicher Flecken.

4. Mineralbestand.

a) Die Hornblende.

Die Hornblende ist auch in den Kelyphitamphiboliten nicht eine fest abgegrenzte Art. Dunklere und hellere Abstufungen kommen vor, bei welchen zugleich wieder die Auslöschungsschiefe mit der Farbintensität zu-, die Doppelbrechung aber abnimmt. (Hellste 20°, dunkelste 26°, Auslöschungsschiefe auf 010; γ-$\alpha = 0{\cdot}024$ bei der hellsten, 0·019 bei der dunkelsten.) Die Verteilung der verschiedenen Hornblenden ist so, daß sie in einem Vorkommnisse entweder gemischt auftreten oder so, daß eine dunklere Zone einen helleren Kern umsäumt. Dies letztere gilt natürlich nur für die körnige Hornblende, die in den

Kelyphitamphiboliten neben der diablastischen oft reichlich erscheint, oft aber auch ganz fehlt. Die Körner sind ganz ohne eigene Form, gebuchtet und gelappt. Zuweilen ist eine größere Hornblende von kleineren Stengelchen umgeben, die mit ihr zugleich auslöschen. Es sieht dann aus, als ob sie sich von ihr losgelöst hätten. Es ist dies schon eine Übergangsform zur diablastischen Hornblende, ebenso wie das Auftreten einer Anzahl kurzer Leistchen, die einander parallel liegen und sich in der Längsrichtung ablösen. Sie erscheinen auf ihrem grauen Plagioklasuntergrund regelmäßig geordnet und haben wie dieser einheitliche Auslöschung. Das Ganze wirkt wie ein nach den Spaltrissen auseinander gefallener Hornblendekrystall, ist aber eine gröbere Art poikilitischer Verwachsung. In dieselbe Kategorie gehören größere Hornblendekörner, welche reichlich durchlöchert erscheinen. Die Löcher sind mit Plagioklas erfüllt, der auch einheitlich auslöscht. Die eigentlichen mikrodiablastischen Strukturen bestehen meist in netzartigen Gebilden; die Maschen sind von Hornblende,



die Lücken von Plagioklas gebildet. Schalch (18) nennt diese Ausbildungsweise treffend Retikularstruktur. Ein solcher netzartiger, einheitlich auslöschender Komplex wird gegen seine Ränder hin gewöhnlich grobmaschiger und ist dadurch oder durch größere Hornblenden und andere Mineralkörner vom nächsten getrennt. Daneben erscheinen strauchartige Verzweigungen der grünen Hornblende, Verflechtungen nach nebenstehendem Schema, parallele Aneinanderlagerung von geraden oder gebogenen Leistchen, die sehr an die mikropegmatitischen Verwachsungen von Quarz und Feldspat in sauren Eruptivgesteinen erinnern. Auch Ausstrahlung von einem idealen Zentrum aus, Ocellarstruktur (Schalch) kommt vor. Außer der Hornblende verwächst auch Biotit zuweilen in solcher Weise mit Plagioklas, daneben Hornblende mit Quarz und ganz selten Hornblende mit Epidot. Nach Schalch (18) nimmt in Schwarzwälder-Amphiboliten auch Pyroxen an der Retikularstruktur teil. Die Feinheit der Ausbildung bleibt im allgemeinen in demselben Vorkommnis konstant, doch kommt auch in demselben Schliff Wechsel sehr feiner, fast nephritartiger Stellen mit viel gröberen vor.

b) Der Granat.

Der Granat unterscheidet sich in seinem optischen Verhalten nicht von dem der früher beschriebenen Gesteine. Die hier wenig auffallend zentral gehäuften Einschlüsse sind meist Epidot und Rutil. Der Granat tritt einsprenglingsartig einzeln, seltener zu Häufchen oder Streifen aggregiert auf. Die früher beschriebene schachbrettartige Klüftung kommt in stark parallel struierten Varietäten (Burgstein) vor in Stücken, wo sie sich auch am Quarz findet. (Tafel V, Fig. 10.) Die interessanteste Erscheinung am Granat ist die ihn umgebende Kelyphitzone.

α) Kelyphit.

Kelyphitische Bildungen wurden zuerst um Pyrop von H. Müller im Serpentin von Greifendorf in Sachsen beobachtet. Sehr bald erregte diese Erscheinung das Interesse verschiedener Forscher umsomehr, da sie sich um die Granaten der Serpentine verschiedener Lokalitäten wiederfand. Der Kelyphit um den Pyrop im Serpentin und die Entwicklungsgeschichte seiner Erkenntnis sind in der schönen Arbeit von J. Mrha (37) behandelt. Der Verfasser erklärt die Erscheinung als Produkt einer Wechselwirkung des Pyrop mit dem ihn ursprünglich umgebenden Olivin.

Außer in Serpentinen werden kelyphitische Bildungen noch in verschiedenen Gesteinen wahrgenommen, die aber immer zu den Gabbro und deren Verwandten gehören. Nur Don Federico Chiavas berichtet von umkränzten Granaten im Chiastolithschiefer von Mara, Provinz Malaga. In den Eruptivgesteinen sind es bekanntlich Olivin, Granat, Feldspat und Magnetit, um welche Kelyphit vorkommt. Nach allen Beobachtungen liegt stets Wechselwirkung des umhüllten Minerals mit dem angrenzenden vor, ganz analog wie bei den Serpentinen und auch in den Amphiboliten. Die Kelyphitmineralien gehören stets der Amphibol- und Pyroxengruppe an, zuweilen mit Feldspat als Zwischensubstanz, dazu Spinellide.

Unter den krystallinen Schiefern sind Granatamphibolite und manchmal eklogitische Übergangsformen allein durch Kelyphitbildung ausgezeichnet. Becke (6) beschreibt Kelyphit aus den Granatamphiboliten von Dürnstein-Waldhütten und von der Palwies bei Großmotten. Die Rinde ist aus radialer grüner Hornblende, Feldspat und Quarz gebildet. Er hielt den Granat nur für Krystalli-

sationszentrum und glaubte, daß der Kelyphit jene Stellen bedeute, wo die Krystallisation begann.

Dieselben Mineralien bilden die Granatumhüllungen in den von Schalch beschriebenen Amphiboliten des Schwarzwaldes. Auch dieser Verfasser glaubt, daß das Kernmineral nur als Strukturzentrum fungiert. In der Literatur werden, soweit mir bekannt geworden ist, nur zweimal nach dem Mineralbestand abweichende Kelyphitbildungen in krystallinen Schiefern angeführt. Pelikan (71) berichtet von einem aus Augit, Biotit, Apatit, Granat, Chlorit und Erz bestehenden Gestein (sogenanntem Diorit), daß es eine Pseudomorphose von Granat nach Augit enthalte, welche in einem zweizonigen Ring beginne. Die innere Zone bestehe aus einem unbestimmten, doppelbrechenden Mineral, die äußere aus Granat. Bei Hrubschitz nimmt, wie schon früher berichtet, nach Barvir neben den oben erwähnten Mineralien noch Diopsid am Kelyphit teil, und zwar in der inneren Zone.

Der Kelyphit aller Ötztaler Kelyphitamphibolite setzt sich gewöhnlich nur aus grüner Hornblende, Plagioklas und Magnetit zusammen; zuweilen mischen sich noch vereinzelte Biotitblättchen, Quarz und Epidotkörnchen bei und sehr selten vertritt der Biotit die Hornblende ganz. Um den scharf, aber meist nicht krystallographisch begrenzten Granatkern schließt sich eine Zone radial gestellter, zum Teil verästelter Hornblendeleistchen, die oft so dicht ist, daß kein Zwischenmineral erkennbar wird, oft aber auch loser erscheint, so daß die eingeklemmten Plagioklase faßbar werden. Auf diese radiale Leistenzone folgt meist ein Kranz schwarzer Magnetitkörner, dann ein Ring von Hornblendekörnern. Manchmal wiederholt sich diese Folge zwei- oder selbst dreimal; oft aber auch ist sie nicht regelmäßig: eine der Zonen kann ausfallen oder Stengel und Körner können sich vermischen, so daß dann nur eine einzige, gemischte Zone den Granat umgibt. Wenn, wie in einem Block von Aschbach, ein ganz kleiner Granatkern von einer sehr breiten, verzweigten, sehr feinen stengeligen Zone umgeben ist, in welche nur wenige und kleine Körnchen eingestreut sind, ist die formale Gleichheit der Erscheinung mit dem typischen Kelyphit im Serpentin der Reutmühle im Waldviertel eine fast vollkommene. (Tafel IV, Fig. 6.) Ganz ähnliche Bildungen, wie die äußere Hülle, erfüllen nun auch die Risse im Granat. In der Mitte des Risses zieht sich ein Band

von Magnetitkörnern durch, dem zu beiden Seiten, normal zum Kluftrand stehend, Hornblendestäbchen angereiht sind, gedrängter oder lockerer gestellt und demnach mit mehr oder weniger Plagioklas als Füllmasse. (Tafel V, Fig. 7.) Das Bild erinnert an die von Klüften aus sich serpentinisierenden Olivine oder an die beginnenden Pseudomorphosen von Cordierit nach Pinit. Ob nun auch diese echt kelyphitische Form der Hornblendemäntel eine beginnende Pseudomorphose ist in demselben Sinne wie die kompakten Hornblenderinge um den Granat der Eklogitamphibolite, läßt sich insofern nicht mit absoluter Sicherheit entscheiden, als eben eine vollkommene Ersetzung des Granats durch radiale Hornblende und Feldspat nirgend konstatiert wurde. Vielleicht bedeuten jene oben erwähnten zentrischen Verwachsungen dieser beiden Mineralien mit idealem Mittelpunkt frühere Granaten, denn in einem Präparate vom Burgstein finden sich solche Formen zuweilen mit einem ganz kleinen Granatrestchen in der Mitte, zuweilen ohne dies. Freilich bleibt es im letzteren Falle zweifelhaft, ob es sich nicht um Schnitte handelt, welche nur durch den Kelyphitring gingen, den Granat aber nicht mehr trafen. Doch nimmt die Breite des Hofes in der Regel mit der Kleinheit des zentralen Kornes zu; dies spricht dafür, daß letzteres tatsächlich verschwunden ist.

Dafür also, daß sich der Kelyphitring auf Kosten des Granats entwickelt, sprechen folgende Beobachtungen:

1. Im allgemeinen wächst die Hülle proportional dem Kleinerwerden des Granatkerns.

2. An vielen Stellen frißt sich das Leistenaggregat in tiefen Einbuchtungen in den Granat hinein.

3. Bei rissigen Granaten liegen nur mehr kleine Reste des Minerals in dem von der äußeren Hülle und den innern Spaltenausfüllungen gebildeten Hornblende-Plagioklas-Magnetitkomplex.

4. Es existieren Übergänge von jenen ganz kompakten Hornblenderingen der Eklogitamphibolite, die, wie wir sahen, sich oft bis zur vollkommenen Verdrängung des Granats verbreitern, zu der radialstengeligen Hüllenform.

Doch handelt es sich auch hier wohl nicht um einfache Pseudomorphose. Wir haben schon bei den Eklogitamphiboliten gesehen, daß bei vollständig oder fast vollständig verdrängtem Granat nur die äußerste Zone reine Hornblende ist, daß sich aber innerhalb

dieser Zone immer noch andere Mineralien, besonders Feldspat und Epidot der Pseudomorphose beimengen und haben aus der Form der Hülle geschlossen, daß besonders sie unter Mitwirkung der anliegenden Substanzen zustande kommt, also „reaktionrim“ sei. Wahrscheinlich ist das innere Gemisch vielmehr dem Granat allein zuzuschreiben; fremde Substanzen können schwerer in die Mitte eindringen. Bei den Kelyphiten nun in vollkommenster Entwicklung geht das gleiche zentrisch angeordnete Mineralaggregat bis zum innersten Granatkern; aber es setzt sich im wesentlichen aus denselben Substanzen zusammen, welche auch die Grundmasse bilden. Die Stoffmischung scheint in diesem Gesteinstypus eine viel weitergehende zu sein, die Umkrystallisation eine vollendetere. In dem Zwischending zwischen Pseudomorphose und Perimorphose mag sich die Wagschale öfter zu Gunsten der letzteren neigen. Wo die Formen sich mehr der kompakten Hülle nähern, finden sich denn auch, wie bei den Pseudomorphosen der Eklogitamphibolite, fremde Mineralien hauptsächlich nach innen den Kelyphitsubstanzen beigemengt.

Aber rein zentrische Strukturformen sind die Kelyphitkränze, wenigstens in den Ötztaler Amphiboliten nicht. Sie können darum auch nicht als Erstlinge der Krystallisation gelten, sondern sie sind wahrscheinlich mit den diablastischen Strukturen auf eine Stufe zu stellen: „Umkrystallisation von Mineralien im eingeengten Raum“, durch veränderte Existenzbedingungen und Verschiebung ihrer Gleichgewichtslage. Damit stimmt schön die Beobachtung überein, daß echter Kelyphit nur in Amphiboliten mit mikrodiablastischer Struktur vorkommt.

β) Andere Umwandlungsprodukte des Granats.

In manchen Kelyphitamphiboliten, besonders am Burgstein, zeigt sich schon makroskopisch um den Granat ein schmälerer oder breiterer, weißlicher Ring, der dann von einer dunkleren Zone umgeben ist. Die Hornblende bildet in diesen Varietäten niemals feinere Verwachsungen. Unter dem Mikroskop enthüllt sich der weiße Kranz als Gemenge von fetzigen, sehr kleinen Plagioklaskörnchen, vermischt mit richtungslos gelagerten Biotitblättchen. Die Granatgrenze ist meist zackig oder buchtig und wie zerfressen. (Tafel V, Fig. 8.) Auf den hellen Ring folgt nach außen eine Magnetitkörnerzone, dann ein Hornblendekörnerkranz. Diesem sind oft lappige Biotite bei-

gemischt, dem innersten weißen Kranz vereinzelte Quarzkörnchen. Die Risse im Granat sind stets auf die pag. 67 beschriebene kelyphitische Art mit Hornblende, Plagioklas und Magnetit erfüllt. Auch der helle Ring scheint eine beginnende Pseudomorphose zu sein, denn er wird breiter mit dem Kleinerwerden des Granatkorns, von welchem manchmal nur mehr kleine, unzusammenhängende Reste vorhanden sind. Zuweilen ist sogar an die Stelle des Granats ein weißer Fleck getreten, der aus einem Aggregat feiner Plagioklaskörnchen mit eingestreuten Biotitfetzchen, Quarzpartikelchen und mit in starken Farben polarisierenden Epidotsplittern besteht. Letztere und vielleicht auch die Quarze können erhalten gebliebene Einschlüsse sein; der Granat führt sie überall ziemlich reichlich.

Cathrein (15) beschreibt eine ähnliche Pseudomorphose von Plagioklas und Epidot nach Granat aus den Tiroler Zentralalpen und weist auf dem Wege der Analyse nach, daß es sich dabei um Oligoklas handelt. Bei der geringen Zahl dieser Art der Pseudomorphosen und bei der Schwierigkeit der Beschaffung reinen Materials war eine mechanische analytische Behandlung aussichtslos. Auch die optische Diagnose bietet große Schwierigkeiten, da die Formen ganz ohne krystallographische Umrisse sind, die Spaltbarkeit fast überall fehlt und die Zwillingsstreifung, in den seltenen Fällen, wo sie auftritt, unscharf und schattenhaft ist, so daß von einer näheren Bestimmung des Minerals leider abgesehen werden mußte.

Eine dritte Art von Pseudomorphose, welche den Granat betrifft, wurde ebenfalls in einigen Burgsteiner Kelyphitamphiboliten gefunden. Granaten mit ganz zerbröckeltem und zerfressenem Rand waren von einer bräunlichen, staubartigen Zone umgeben, aus welcher öfter ein Körnchen mit hoher chromatischer Polarisation hervorsticht. Diese Körnchen gehen so in die feineren, staubartigen Partikel über, daß an ihrer Identität mit diesen kaum gezweifelt werden kann. Die hohe Licht- und Doppelbrechung und die schwach bräunlich grüne Eigenfarbe charakterisieren das Mineral genügend als Epidot.

Diese drei Arten der Granatumwandlung sind nicht an getrennte Vorkommnisse gebunden, sondern können nahe nebeneinander, selbst in ein und demselben Schliff beobachtet werden. Wir haben sogar gesehen, daß eine Doppelzone von Magnetit und Hornblende die Plagioklas-Biotit-Pseudomorphose umgibt. Diese Verschiedenartigkeit des Endproduktes beim gleichen Ausgangsmaterial und bei gleichen

äußeren physischen Einflüssen erklärt sich vielleicht am einfachsten durch die Annahme, es möchten lokal verschiedenartige Lösungen auf den Granat eingewirkt haben.

c) Der Plagioklas.

Die Bestimmung des Plagioklases bietet sehr große Schwierigkeiten; denn er ist fast überall nur als Füllmasse zwischen die übrigen Mineralien geklemmt, so daß er das gleichmäßig graue Grundgewebe eines Teppichs bildet, in welches alle andern Substanzen das Muster zeichnen und fast nie durch Spaltbarkeit oder Zwillingsbildung oder auch nur durch die geringste Tendenz zu eigener Umgrenzung, irgendwie individualisiert, erscheint. Andeutungen eines Kornes sind nur durch die einheitliche Auslöschung gewisser mit Hornblende verwachsener Strecken gegeben. Man würde das Grundgewebe für Quarz halten, denn es ist überall frisch und klar und durchsichtig, wenn nicht die Uhrzeigerdrehung des Schattens der optischen Achsenebene und eine doch zuweilen bemerkbare unsichere Zwillingslamellierung die Feldspatnatur des Minerals unzweifelhaft machten. Wo Quarz angrenzt, also ein Vergleich der Lichtbrechung möglich wird, erscheint er stärker oder gleich lichtbrechend. Die größte gemessene Auslöschungsschiefe betrug 16°, die geringste 5°. In einem Schliff von Aschbach gelang es, drei annähernd symmetrisch auslöschende Körner zu finden mit den Größen $\left.\begin{matrix}10\\12\end{matrix}\right\}$ $11°$, $\left.\begin{matrix}13\\13\end{matrix}\right\}$ $13°$, $\left.\begin{matrix}8\\12\end{matrix}\right\}$ $10°$. Die optischen Merkmale lassen also auf Oligoklasandesin schließen.

d) Pyroxen.

Pyroxen wurde bei den Kelyphitamphiboliten nur in zwei Vorkommnissen beobachtet, in einem Stück vom nördlichen Aufstieg zum Burgstein und in einem von Umhausen. In beiden tritt er als große, kurze Säulen vom Habitus der Gabbropyroxene auf; bei Umhausen war er so von Hornblende nach allen Richtungen durchwachsen, daß der Pyroxen mehr als Füllmasse zwischen den Amphibolen erschien; am Burgstein zeigte er sich in körniger Auflösung und Übergang in Hornblende begriffen. Im Umhauser Präparate wurde ein seitliches Pinakoid gefunden und die Auslöschungsschiefe $c:c$ auf (010) zu 45° gemessen; $\gamma-\alpha$ betrug 0·022, was auf Augit

hinweist. Wahrscheinlich sind Pyroxene in den Kelyphitamphiboliten Reste aus einer früheren Periode der Gesteinsgeschichte.

e) Der Biotit.

Der Biotit kann in den Kelyphitamphiboliten ganz fehlen oder aber ziemlich reichlich vorhanden sein. Wir haben ihn schon in den hellen Pseudomorphosen nach Granat und als Teilnehmer am Kelyphit kennen gelernt. Außerdem vertritt er in wenigen Vorkommnissen die Hornblende in ihren Verwachsungen mit Plagioklas und nimmt dabei die oben beschriebenen Formen dieses Minerals an. Manchmal umhüllen die biegsamen Biotitblättchen den Granat oder seine Pseudomorphosen. In einem Block von Aschbach ist Biotit mit den größeren Hornblendekörnern so verwachsen, daß zu beiden Seiten der Spaltrisse derselben schmale Lamellen des Glimmers erscheinen. Wahrscheinlich geht hier die Hornblende in den Biotit über. Dieser ist überall stark pleochroitisch, tiefbraun bei Schwingungen parallel der Spaltbarkeit, licht ledergelb bei denen senkrecht dazu. Der optische Achsenwinkel ist sehr klein. Chloritisierung des Biotits wurde öfter, auch in sonst ziemlich frischen Stücken beobachtet.

f) Der Quarz.

Quarz kommt in allen Kelyphitamphiboliten in schwankender Menge vor. Sein Auftreten ist genau wie bei den Eklogitamphiboliten; auch die grüne Umrandung fehlt selten.

g) Der Apatit.

Apatit wurde nur in einem Block von Aschbach und bei Umhausen gefunden. Er kommt in großen, knolligen, länglichen Körnern vor, reichlich in der diablastischen Grundmasse verstreut.

h) Epidot und Zoisit.

Der Epidot erscheint gewöhnlich sehr reichlich in großen, länglichen, farblosen Körnern. In einigen Varietäten des Burgsteins fehlt er fast ganz und wird durch Zoisit vertreten, der eine ganz eigentümliche Ausbildungsweise besitzt. Lange schlanke Säulchen treten zu dreien oder mehreren zu besenartigen Gebilden zusammen, mit welchen dann der ganze Schliff übersät erscheint.

i) Rutil und Titanit.

Der Rutil tritt, wie in den früher beschriebenen Typen, stets mit Erz verbunden auf. Nur ist in den Kelyphitamphiboliten diese

Verbindung stets von einem schmäleren oder breiteren Titanitring umgeben, der sich offenbar aus ihnen herausbildet. Titanit in der bekannten Briefkuvertform erscheint seltener auch für sich.

k) Erze.

Die Erze sind dieselben wie in den Eklogitamphiboliten: Magnetit und Pyrit. Der schönen bandartigen Anordnung des Magneteisens als Ausscheidungsprodukt des Granats in dessen Rissen und seines Anteils am Kelyphit haben wir schon früher gedacht. Sonst sind die Körner beider Erze gleichmäßig im ganzen Gestein verteilt. Der Magnetit zeigt zuweilen ein schmales Hornblenderändchen, das auch hier und da um den Rutil beobachtet wurde.

Eine Reihenfolge der Mineralien nach der Güte ihrer Formenentwicklung läßt sich für die Kelyphitamphibolite kaum aufstellen, da alle Gemengteile unselbständig in der Form sind, mit Ausnahme mancher Titanit- und Rutilkörner und selbst der krystallisationskräftige Granat durch den Kelyphitring stets randlich zerhackt und zerfressen erscheint.

5. Chemismus des Kelyphitamphibolits.

Zur Analyse wurde ein Stück von Umhausen verwendet. Sie ergab folgende Werte:

	Sodaaufschlüsse	Flußsäureaufschlüsse		Mittel
SiO_2	48·29	—		48·29
TiO_2	1·78	1·79		1·79
Al_2O_3	13·99	13·89		13·94
Fe_2O_3	9·57	9·65		9·61
FeO	—	—	4·20	4·20
CaO	9·18	9·19		9·18
MgO	6·80	—		6·80
K_2O	—	1·00		1·00
Na_2O	—	3·54		3·54
H_2O unter 110°			0·10	0·10
H_2O über 110°			1·29	1·29
				99·74

Spezifisches Gewicht 3·131.

Die chemische Zusammensetzung des Kelyphitamphibolits zeigt danach keine wesentlichen Abweichungen von derjenigen der früher behandelten Gesteine.

6. Entstehung des Kelyphitamphibolits.

Je weiter sich unsere Gesteinstypen nach Struktur und Mineralbestand von den Eklogiten entfernen, desto seltener und undeutlicher erscheinen kataklastische Phänomene. In den Kelyphitamphiboliten wird nur noch zuweilen eine schwach undulös auslöschende Hornblende gefunden; die Herstellung des neuen Gleichgewichtszustandes, welche die Entstehung des Gesteins veranlaßte, geschah fast vollkommen durch Umkrystallisation. Darin besonders unterscheidet sich der Kelyphitamphibolit vom Typus II der Eklogitamphibolite, daß die Umkrystallisation eine vollkommenere, allgemeinere und intensivere war; das Gestein ist nach Mineralbestand und Struktur das geworden, wonach jener Typus II nur tendiert. Der bei der Entstehung der Kelyphitamphibolite wirksame Druck muß sich dem hydrostatischen mehr oder weniger genähert haben, denn mikropegmatitische Verwachsungen sind nicht wohl anders denkbar. Das Gestein ist in seiner schönsten Ausbildung massig und die Paralleltextur tritt nicht durch Schieferung hervor, sondern, wo sie erscheint, gibt sie sich durch schlierige Streckung der diablastischen Komplexe zu erkennen, die dann oft den Granat bogenförmig umziehen. Die Epidote, Zoisite und körnige Hornblende haben dann ihre längste Erstreckung nach einer Richtung, aber niemals so regelmäßig und ausgesprochen wie in typischen Schiefern.

Der Mineralbestand der Kelyphitamphibolite weicht wenig von dem des obigen Typus II ab, so daß sie in Bezug auf die Bildungszone des Gesteins zu denselben Betrachtungen Veranlassung geben, wie dort die Neubildungen: Durchwegs Komponenten mit größerem spez. Volumen und, so weit sich dies beurteilen läßt, größerer positiver Wärmetönung als die ursprünglichen. Der Rutil, welcher sonst als Überläufer gilt, scheint hier nicht haltbar zu sein, da er vielfach durch Titanit vertreten wird.

7. Kelyphitamphibolite anderer Lokalitäten.

a) Mont Blanc-Gebiet.

Ein Gestein dieser Art ist von Duparc und Mrazec (19) untersucht worden. Da aber die Autoren gerade auf die strukturellen Eigentümlichkeiten wenig Gewicht legten, mag eine kurze Beschreibung gerechtfertigt sein. Wegen seiner engen Verbindung mit den Eklogiten,

welche über den Pétoudes anstehen, wird das Gestein von den Verfassern zu diesen gezählt, obgleich es nur sehr wenig Pyroxen führt, der bis auf geringe Reste z. T. auf uralitische Weise in Hornblende übergegangen scheint. In dem mir zur Verfügung stehenden Schliff (Nr. 38 aus der Duparcschen Sammlung von Voigt & Hochgesang) erreicht die mikrodiablastische Struktur als Verwachsung von Hornblende und Plagioklas ihre vollkommenste Ausbildung. An manchen Stellen glaubt man einen mikroskopischen Schriftgranit vor sich zu sehen, nur daß die verwachsenen Mineralien andere sind; wieder an anderen Stellen erscheinen ganze Bäumchen von Hornblende mit Stamm, Ästen und Zweigen, die sich von dem farblosen Plagioklasuntergrund scharf abheben.[1]) Zwischenliegende Pyroxenreste zeigen deutlich, daß das Ursprungsgestein ein Pyroxengestein gewesen ist, dessen Amphibolitisierung mit Zerfaserung jenes Minerals vor sich gegangen ist. Der Pyroxen charakterisiert sich durch blaßgrüne Farbe, eine Auslöschungsschiefe von 43° auf (010) hohe Doppelbrechung und kleinen optischen Achsenwinkel, scheint also zum Omphazit zu gehören. Die Hornblende hat in dem von mir untersuchten Schliff nicht das typische Blaugrün bei Schwingungen $\parallel c$ der Ötztaler Vorkommnisse, sondern ist blaßgelbgrün und sehr wenig pleochroitisch. Doch sollen nach Duparc die nächsten und ganz verwandten Vorkommnisse jene bläulichgrüne Hornblende führen. Die Doppelbrechung der gelblichgrünen Hornblende ist schwach ($\gamma\text{-}\alpha = 0{\cdot}020$), die Auslöschungsschiefe steigt nicht über 20°.[2]) Die bei den Ötztaler Hornblenden beobachtete Regel, daß die Doppelbrechung mit der Abnahme der Eigenfarbe wächst, trifft hier nicht zu. Der Granat, mikroskopisch fast farblos, ist besonders zentral sehr einschlußreich. Die Einschlüsse sind Pyroxen, Plagioklas, Rutil, Titaneisen, Quarz und Hornblende. Die Kelyphitbildung ist undeutlich. Zunächst um den Granat erscheint eine Zone von Plagioklas von annähernd radial gestellten Hornblendeleistchen spärlich durchsetzt, die von der körnigen Hornblende einer wenig ausgesprochenen, in das übrige Gesteinsgewebe übergehenden Körnerzone auszusprossen scheinen. Duparc konstatiert eine bräunliche Hornblende um und besonders in den Rissen des Granats, die er Kelyphit nennt. In meinem Präparate

[1]) Nicht selten durchquert die Spaltbarkeit das ganze Bäumchen.

[2]) Während die blaugrüne Hornblende dieser Gesteine mit 22° auslöscht und $\gamma\text{-}\alpha = 0{\cdot}023$ hat.

unterschied sich die dem Granat benachbarte Hornblende nicht von der des Grundgewebes. Überall zeigt sie sich fleckig in bräunlich und grün, wobei die braunen Stellen an die Nähe eines eisenreichen Minerals gebunden sind und daher besonders bei den Erzen vorkommen. Die mikropegmatitisch verwachsene Hornblende geht in der schon bei den Ötztaler Kelyphitamphiboliten beschriebenen Weise in körnige über. Auch der übrige Mineralbestand des Gesteins von Pétoudes fällt mit dem der Ötztaler Lokalitäten zusammen. Doch fehlen die Glieder der Epidotgruppe fast ganz. Duparc und Mrazec bestimmten die Plagioklase als $Ab_2\,An_1 - Ab_3\,An_3$. Von mir wurden in der Zone $\perp$ (010) folgende symmetrische Auslöschungsschiefen gemessen

$$\left.\begin{matrix}25\\28\end{matrix}\right\} 26{\cdot}5^0 \quad \left.\begin{matrix}29\\29\end{matrix}\right\} 29^0 \quad \left.\begin{matrix}28\\28\end{matrix}\right\} 28^0 \quad \left.\begin{matrix}19\\20\end{matrix}\right\} 19{\cdot}5^0 \quad \left.\begin{matrix}17\\19\end{matrix}\right\} 18^0$$

Zahlen, die für Labrador sprechen. Die Analyse des Gesteins ergab gabbroiden Chemismus. Die Struktur geht zuweilen sehr deutlich von der diablastischen in die gabbroide über.

b) Kelyphitamphibolit aus dem Schwarzwalde.

Dieses Gestein stammt von einem losen Block unter dem Amphibolitköpfchen, das hinter der Huberschen Säge im Maisachtal mit steiler Böschung aus dem gleichmäßigen sanften Gehänge der langgestreckten, ausgeglichenen Bergzüge des Renchgneises emporragt. Zu den Kelyphitamphiboliten wird das Gestein weniger wegen der Granatumrandungen gestellt (die meist undeutlich sind, wie bei obigem Mont Blanc-Gestein und aus einer inneren Plagioklaszone bestehen, in welche die angrenzenden Hornblendekörner spärliche Zotten aussenden), sondern wegen seiner schönen, mikrodiablastischen Struktur. Eine Proportionalität der sehr kleinen Granaten mit der Breite des Hofes macht sich nirgends geltend, so daß Schalchs (18) Auffassung der Erscheinung als einfacher zentrischer Struktur sehr begreiflich ist. Vielleicht handelt es sich aber trotzdem auch hier um eine Kombination von Pseudo- und Perimorphose, wobei der Anteil der letzteren nur stark überwiegt. Die mikropegmatitischen Verwachsungen mit Plagioklas erinnern „an die Aggregationsformen der Eisblumen".[1]) Der Mineralbestand dieses Schwarzwälder Kelyphitamphibolits ist sehr einfach; vorwiegend Hornblende, kleiner Granat

[1]) Übergänge in körnige Formen sind auch hier vorhanden.

von sehr wechselnder Menge in rundlichen Körnern, manchmal in Streifen angeordnet, Plagioklas als Füllmasse, Biotit, viel Magnetit, wenig Quarz und Rutil; Pyroxen wurde nicht gefunden, doch nimmt er nach Schalch nicht selten an der Eisblumenstruktur teil.

Die Farbe der Hornblende ist sehr blaß, in gelblich und bräunlichgrünen Tönen. Die Absorption ist $c > b > a$, aber wenig ins Auge fallend, die Auslöschungsschiefe auf (010) $c:c = 21°$, die Doppelbrechung ziemlich groß. Wo die Hornblende an die Erzkörner grenzt, wird sie entschieden braun, so daß erstere von einem braunen, sich allmählich verlierenden Hofe umgeben sind. Der stark pleochroitische Biotit (schokoladebraun bei Schwingungen || der Spaltbarkeit, hell gelbbraune $\perp$ dazu) tritt in sehr wechselnder Menge auf und ersetzt stellenweise die Hornblende in den diablastischen Gebilden indem er deren Form kopiert. Die Plagioklase zeigen nur sehr undeutliche, verwischte Zwillings-Lamellierung und durchwegs geringe Auslöschungsschiefe. Nach Schalchs Bestimmungen ihres spez. Gewichts in Thouletscher Lösung gehören sie zum Oligoklas-Albit. Der Chemismus des Gesteins ist der gabbroide.

IV. Gewöhnliche Amphibolite.

I. Strukturformen und makroskopischer Habitus.

Die gewöhnlichen Amphibolite zeigen eine große strukturelle Mannigfaltigkeit, so daß bei ihrer Betrachtung als zusammenfassendes Moment zuerst nur das negative Kennzeichen: Fehlen diablastischer Gebilde, in die Augen fällt. Schließlich jedoch finden sich auch hier bei großen Gruppen wiederkehrende und genetisch bedeutsame Formen, nach welchen eine Einteilung gelingt. Wir unterscheiden:

a) Amphibolite mit echter Gabbrostruktur;

b) Amphibolite, deren Gabbrostruktur durch Schieferung modifiziert wird;

c) Amphibolite, deren Gabbrostruktur durch annähernd idiomorphe Entwicklung der Hornblende verdeckt ist, bei richtungslos körniger oder schieferiger Textur.

Variationen in den Typen sind gegeben durch die größere oder geringere Feinheit des Kornes oder durch das Vorherrschen von Hornblende oder Plagioklas. Zwischen allen Formen existieren Übergänge, auch durchwegs zum Kelyphitamphibolit, viel weniger aber zu den

Eklogitamphiboliten. Mit Eklogiten sind gewisse Varietäten geologisch sehr nahe und regelmäßig verknüpft, indem sie das Liegende derselben bilden; so am Burgstein.

Aber die beiden Gesteinsarten bleiben dabei doch immer scharf getrennt; nirgends wurden Übergänge beobachtet.

Mineralogisch sind die gewöhnlichen Amphibolite hauptsächlich durch das Zurücktreten des Granats charakterisiert, der in der Regel nur mehr in den Übergangsgliedern zu den Kelyphitamphiboliten reichlich erscheint. Plagioklas wird dagegen ein wesentlicher, nicht selten beinahe die Hälfte der Gesteinskomponenten ausmachender Gemengteil, freilich sehr häufig durch Zoisit oder Epidot, teilweise oder auch fast ganz, vertreten; aber das Hervorgehen dieser Mineralien aus dem Feldspat läßt sich oft überzeugend dartun. Bei den gewöhnlichen Amphiboliten, welchen jegliche Schieferung fehlt, schwankt die Farbe zwischen graugrün und tiefschwarz, je nach dem Vorherrschen oder Zurücktreten des Feldspates. Sie sind mittel- bis feinkörnig, meist von gleichmäßiger Verteilung der Gemengteile und erinnern manchmal sehr an Diorite; fleckige Varietäten, durch Aggregierung von Plagioklas und Hornblende in rundlichen Häutchen, kommen vor. Die Paralleltextur, wo sie auftritt, wird hauptsächlich durch die gleichgerichteten Lagen der Hornblendesäulchen hervorgebracht. Leichtere Ablösung nach einer Fläche ist selten deutlich. Unterstützt wird der schieferige Habitus oft dadurch, daß sich die Amphibole und Plagioklase in schmalen, sich zuweilen rasch auskeilenden Lagen anreichern, die stets in der Richtung der Hornblendeprismen gehen. Diese Lagen können aber auch ein bis mehrere Zentimeter breit werden, wodurch das Bild einer oft weithin sichtbaren Schichtung erzeugt wird. Varietäten, in welchen der Plagioklas durch Zoisit vertreten wird, sind manchmal durch Lentikulartextur schön geflammt.

a) Gewöhnliche Amphibolite mit echter Gabbrostruktur (Schalch).

Dieser Typus ist in seiner vollkommenen Entwicklung im Ötztal, wenigstens an den von mir studierten Lokalitäten, nicht häufig. Gute Beispiele wurden nur auf der Breitlehner Alpe in losen Blöcken und in dem Trümmerwerk des Murkaarbaches kurz vor Aschbach gefunden. Schalch fand die Varietät ausgezeichnet im Schwarzwalde. In sehr schöner Ausbildung kenne ich sie auch aus dem

Mont Blanc-Gebiet. Die Struktur charakterisiert sich einfach durch die für die Gabbrostruktur eigentümliche, allotriomorphe Ausbildung der Hauptgemengteile, die kompakt körnig und von ziemlich gleicher Größe des Kornes sind. Die Hornblende nähert sich insofern eigener Form, als sie meist Neigung zu prismatischer Entwicklung zeigt, wenn auch die Seitenflächen selten, die Endflächen niemals krystallographisch ausgebildet sind. (Tafel V, Figur 11.) Als Beispiel mag hier die Beschreibung einiger Schliffe folgen.

Ein typisches Vorkommnis stammt aus der Moräne des Mittelberger Ferners im Piztal. Die Hornblende zeigt den gewöhnlichen blaugrünen Ton, maximale Auslöschungsschiefe 21°; die Plagioklase sind stark angegriffen und zum großen Teil von krümligen Häufchen Epidots bedeckt, der dazwischen auch in größeren, länglichen Körnern vorkommt. Daneben ist der Plagioklas von serizitischem Glimmer durchsetzt. Für die Auslöschungsschiefe konnten in der Zone $\perp$ (010) folgende Größen gefunden werden:

$$\left.\begin{matrix}17\\15\end{matrix}\right\} 16^\circ \quad \left.\begin{matrix}13\\14\end{matrix}\right\} 13{\cdot}5^\circ \quad \left.\begin{matrix}10\\10\end{matrix}\right\} 10^\circ \quad \left.\begin{matrix}9\\10\end{matrix}\right\} 9{\cdot}5^\circ \quad \left.\begin{matrix}13\\16\end{matrix}\right\} 14{\cdot}5^\circ$$

Danach scheint der Plagioklas zum Andesin zu gehören. Als Akzessorien wurden nur große Rutilkörner mit Titanomorphit, Erze und Quarz konstatiert.

Der gabbroid struierte Amphibolit von der Breitlehner Alpe unterscheidet sich hauptsächlich durch seine kleinen, rundlichen, wasserklaren, ungestreiften Feldspäte vom vorigen. Sie sind mit reichlichem körnigen Epidot vermischt, also wahrscheinlich sekundäre Bildungen, indem ein Kalknatronfeldspat sich in Albit und Epidot umwandelte. Der Epidot ist zuweilen von Blättchen eines farblosen Glimmers umgeben. Stellenweise werden beide Mineralien durch mehlige Flecken von winzigen Plagioklastrümmerchen ersetzt. Die Hornblende gleicht der vorigen nach Form und optischem Verhalten vollständig. Rutil fehlt. Titanomorphit umkränzt Titaneisen. Quarz und Apatit sind häufig.

Der Amphibolit von Aschbach ist spärlich granatführend und weicht auch strukturell schon etwas von den vorigen Beispielen ab, indem die Hornblende weniger kompakt erscheint. Es sieht aus, als ob sie nach den Spaltrissen auseinander fiele; diese werden klaffend und füllen sich mit Plagioklas, zweifellos Anfänge einer

diablastischen Strukturform. Optisch unterscheidet sich die Hornblende nicht von der der vorigen Varietäten. Messungen der Auslöschungsschiefe der Plagioklase auf Schnitten mit symmetrisch auslöschenden Lamellen ergaben sehr verschiedene Größen:

$$\left.\begin{matrix}13\\12\end{matrix}\right\} 12{\cdot}5^0 \quad \left.\begin{matrix}22\\20\end{matrix}\right\} 21^0 \quad \left.\begin{matrix}5\\7\end{matrix}\right\} 6^0 \quad \left.\begin{matrix}7\\5\end{matrix}\right\} 6^0 \quad \left.\begin{matrix}11\\12\end{matrix}\right\} 11{\cdot}5^0 \quad \left.\begin{matrix}11\\9\end{matrix}\right\} 10^0 \quad \left.\begin{matrix}24\\18\end{matrix}\right\} 21^0$$

Wahrscheinlich handelt es sich um Andesin-Labrador. Auch hier sind die Plagioklase stark epidotisiert und serizitisiert. Der Granat sieht ganz zerstückelt und auseinandergerissen aus und hat keine charakteristische Form. Regionenweise verschwindet die Hornblende ganz aus dem Gesteinsbilde. An ihre Stelle tritt ein brauner, stark pleochroitischer Glimmer, mit sehr kleinem optischen Achsenwinkel, aber ohne daß irgend eine Beobachtung für seine Herkunft aus der Hornblende spräche, von der er auch in der Form abweicht. Reichlicher Apatit, Titaneisen und Titanit vervollständigen den Mineralbestand.

Dem gabbroid struierten Gestein von Aschbach sehr nahe stehend ist ein Amphibolit aus Kühetai, der hier nur wegen seiner interessanten Granatpseudomorphosen Erwähnung finden soll. Die sehr blaßgrüne, wenig pleochroitische Hornblende {c : c 25° auf (010)} ist gerade wie beim vorigen Amphibolit oft mit Labrador verwachsen. Ihre Auslöschungsschiefe auf (010) = 21°. Vereinzelt erscheinen im Schliffe rundliche Häufchen eines krümeligen Zoisits mit spärlichen Epidotsplittern vermischt. Kleine, darin eingebettete Granatreste zeigen, daß hier wieder eine Pseudomorphose vorliegt. Reichliches Erz und Rutil sind die übrigen Akzessorien. Spuren von Kataklase wurden in keinem der beschriebenen Amphibolite mit echter Gabbrostruktur mit Sicherheit konstatiert.

Dasselbe gilt von den von mir studierten gabbroiden Amphiboliten des Mont Blanc-Gebietes, die schon von Duparc und Mrazec (19) unter dem Titel „Amphibolites feldspathiques“ beschrieben wurden. Mir standen Schliffe der Gesteine, welche am Glacier de Taconnaz und am Glacier des Bossons anstehen, sowie eines erratischen Stückes vom Glacier des Bossons aus der Durparcschen Serie von Voigt & Hochgesang zur Verfügung. Makroskopisch sollen die Gesteine durch ihr körniges, massiges Aussehen von dioritischem Habitus sein und in Schwärmen von größeren oder kleineren Linsen in Glimmerschiefern liegen. Das mikroskopische Bild bietet die

Gabbrostruktur ganz ausgezeichnet. Der Hornblende fehlt das intensive Blaugrün der Ötztaler Vorkommnisse. Pleochroismus c und b bräunlichgrün, a hellbräunlich, Absorption $c = b > a$; Auslöschungsschiefe auf $(010) = 22°$, Doppelbrechung nach Duparc 0·023. Ein großer Teil der Hornblendekörner ist zonar gebaut, der Rand heller als das Zentrum, ja fast farblos und von stärkerer Doppelbrechung. Duparc glaubt, daß eine randliche Umwandlung in Strahlstein vorliege. Bei dem erratischen Block vom Glacier des Bossons, der ausnahmsweise stark mechanisch beeinflußt ist, zeigt sich an den Hornblenden eine interessante Erscheinung. Sie sind zum Teil gebrochen und die Spaltrisse an den Enden klaffend geworden, so daß sich die Individuen besenartig auffasern und zugleich in braunen Glimmer übergehen. Die stark verbogenen Biotite, welche auch ohne Hornblendereste im Schliffe vorkommen, sind demnach wohl sicher umgewandelte Hornblenden. In den Stücken ohne kataklastische Spuren fehlt auch der Biotit. Die Feldspate sind kaum bestimmbar, so dicht sind sie mit Zoisit und etwas Serizit durchsetzt. Auffallend sind häufige, ganz frische Ränder, die wahrscheinlich Anwachszonen bedeuten. Die Zwillingsstreifung, wo sie vorhanden ist, geht gleichmäßig durch Rand und Zentrum. Die Lücken zwischen den großen Plagioklasen sind durch kleine, wasserklare Feldspatkörner ausgefüllt, wahrscheinlich Neubildungen. Duparc bestimmte die Feldspate als Oligoklase und Orthoklase; für das Vorkommnis vom Glacier de Taconnaz und noch mehr für das nicht dynamisch beeinflußte Stück vom Glacier des Bossons ist diese Bestimmung aber schwerlich ganz zutreffend, schon wegen der starken Zoisitbildung neben der Serizitisierung der Körner und auch wegen des geringen Alkaligehaltes, wenigstens des letzteren Gesteines. Die Analyse desselben bleibt durchaus im Rahmen eines gabbroiden Magmas. Das Gestein vom Taconnaz dagegen hat dioritischen Chemismus, während das kataklastische Stück vom Glacier des Bossons mit fast 60% SiO_2 und mehr als $8\frac{1}{2}$% Alkalien, wovon 6·66% auf K_2O fallen, syenitischen Charakter aufweist. Die Akzessorien sind wie die der Ötztaler gabbroid struierten Amphibolite. Granat fehlt. Erwähnenswert sind prachtvolle Durchkreuzungszwillinge von Titanit.

Auch in gabbroid struierten Amphibolitenaus dem Schwarzwalde kehrt der normale einfache Amphibolit-Mineralbestand wieder. Die von mir studierten Vorkommnisse vom rechten Gehänge des

Maisachtales, Hof Kostspring bei Peterstal und Hirschsprung bei Mauren haben fast nur Hornblende, Plagioklas, Titanit und Erze in sehr wechselnden Mengen, neben Apatit. Auch das früher (Seite 61) beschriebene Pyroxen-Plagioklasgestein von der Straße von Peterstal nach Mauren, in welchem die Pyroxene in einer Umwandlung in Hornblende begriffen sind, gehört strukturell hieher. (Vergleiche Schalch (18), pag. 46.)

Die Hornblende hält sich durchaus in bräunlichen Tönen: c und b bräunlichgrün, a gelblich; die Absorption ist $c = b > a$; die Auslöschungsschiefe 21°. Für die Plagioklase wurden die symmetrischen Auslöschungsschiefen von

$$\left.\begin{matrix}20\\22\end{matrix}\right\} 21^\circ \quad \left.\begin{matrix}22\\26\end{matrix}\right\} 24^\circ \quad \left.\begin{matrix}20\\22\end{matrix}\right\} 21^\circ \quad \left.\begin{matrix}13\\14\end{matrix}\right\} 13{\cdot}5^\circ \quad \left.\begin{matrix}19\\21\end{matrix}\right\} 20^\circ \quad \left.\begin{matrix}18\\17\end{matrix}\right\} 17{\cdot}5^\circ$$

gemessen. Danach gehören sie zum Labrador. Die von Schalch (18) gegebene Analyse zeigt auch gabbroiden Chemismus, wobei freilich der hohe Alkaligehalt auffällt, der aber immerhin noch im Rahmen der für das Gabbromagma charakteristischen Rosenbuschschen Ungleichung $K + Na > Ca$ bleibt. Die Vorkommnisse von Kostspring und von Hirschsprung tendieren schon ein wenig nach paralleler Anordnung der Hornblende und nach der später zu beschreibenden Schachbrettstruktur.

b) Schiefrige Typen der Amphibolite mit Gabbrostruktur.

Die parallel texturierten Abänderungen der Amphibolite mit Gabbrostruktur sind nahe mit den massigen verknüpft, denn die besten Beispiele des Typus stammen von denselben Schuttkegeln und Trümmeranhäufungen der Breitlehner Alp und von Aschbach, von welchen auch jene gesammelt wurden. Die Gemengteile sind nach Art und Mengenverhältnis genau dieselben wie bei den vorigen, die unfrischen, stark epidotisierten und serizitisierten Plagioklase bleiben ebenfalls zwischen Oligoklas-Andesin und Labrador; nur zeigen sie stark undulöse Auslöschung und häufige Zertrümmerung und die länglichen kompakten Hornblendekörner liegen parallel. Gröbere poikilitische Verwachsungen mit Plagioklas kommen wie im Typus a vor. Die beiden Hauptgemengteile sind nicht gleichmäßig im Gestein verteilt, sondern reichern sich in schmalen, rasch auskeilenden Lagen an, was den Eindruck der Schiefrigkeit erhöht und den Gesteinen oft schon makroskopisch ein fein gestreiftes Aussehen

gibt. Granat fehlt in diesen Vorkommnissen ganz, doch treten zerstreute, länglich gestreckte Häufchen von krümeligem Epidot mit etwas hellem Glimmer vermischt auf, die, nach Analogie mit andern Typen zu schließen, Granaten gewesen sein dürften. Sichere Anhaltspunkte dafür wurden allerdings nicht gefunden. Apatit, Erze und Titanmineralien erscheinen wie in den echt gabbroiden Amphiboliten. In einem Stück von der Breitlehner Alpe tritt fleckweise an Stelle der Hornblende Chlorit und Epidot. Auffallend ist der relative Quarzreichtum der parallel struierten Formen gegen die massigen. Dieses Mineral erscheint in gestreckten Komplexen undulös auslöschender Körner und mag wohl ein dem chemischen Bestand des Gesteins fremder Eindringling sein, der die bei den gebirgsbildenden Prozessen entstehenden Hohlräume erfüllte.

c) Amphibolite mit verwischter Gabbrostruktur. (Schalch.)

Dieser Typus ist außerordentlich reich an Variationen, hauptsächlich in graduellen Abweichungen von der rein gabbroiden Strukturform. Bei vielen, auch schon ziemlich abweichenden Arten ist jedoch die Verbindung mit dieser Strukturform eine so nahe, daß beide nicht nur in demselben Gesteinskörper, sondern sogar in demselben Schliff ineinander übergehend vorkommen.

α) Aus dem Profil Sölden.

Den gabbroid struierten Amphiboliten am nächsten stehen Gesteine, welche an der äußersten Nordgrenze des großen Söldner-Amphibolitstockes anstehen. Es sind massige, körnige, dunkle, in einzelnen Schichten dadurch etwas gefleckte Gesteine, daß sich Plagioklase und Hornblenden in rundlichen Häufchen scharen. Das makroskopische Bild ist ganz dioritähnlich. Mikroskopisch unterscheiden sie sich von den gabbroid struierten Formen dadurch, daß die Hornblende eine mehr oder weniger ausgesprochene krystallographische Begrenzung besitzt und die Flächen (110), (100) und (010)(?) zuweilen sogar auch die Endflächen gut entwickelt sind. Die einschlußarme Hornblende ist die gewöhnliche; (c blaugrün, b grün, a grüngelb; Auslöschungsschiefe c : c auf (010)=21°.

Bei Messungen symmetrisch auslöschender Plagioklaszwillinge wurden folgende Größen gefunden:

$$\left.\begin{matrix}21\\22\end{matrix}\right\} 21{\cdot}5^0 \qquad \left.\begin{matrix}7\\8\end{matrix}\right\} 7{\cdot}5^0 \qquad \left.\begin{matrix}9\\11\end{matrix}\right\} 10_0 \qquad \left.\begin{matrix}11\\13\end{matrix}\right\} 12^0 \qquad \left.\begin{matrix}20\\22\end{matrix}\right\} 21^0$$

$$\left.\begin{matrix}20\\20\end{matrix}\right\} 20^0 \qquad \left.\begin{matrix}18\\14\end{matrix}\right\} 16^0$$

Eine Bestimmung nach der Beckeschen Lichtbrechungsmethode ergab $\omega < \alpha$ und $\varepsilon < \gamma$. Die Plagioklase gehören also wohl zum Andesin-Labrador. Ihr Erhaltungszustand ist ein relativ guter; die meisten Individuen sind wasserklar und ohne Spaltbarkeit, nur wenige lamelliert. Vielleicht gehört ein Teil der Feldspate zum Albit, da die Analyse mehr als 3% Na_2O ergab. Der Frische des Plagioklases entsprechend sind die Mineralien der Zoisit-Epidotgruppe hier relativ selten; doch gibt es auch Stücke, in welchen Nester von Epidot in Insekteneierform, hier und da von einem größeren Korn unterbrochen, ziemlich reichlich vorkommen. Apatit, gewöhnlich in eirunden Körnern, zuweilen jedoch auch in schönen sechsseitigen Durchschnitten, ist neben Magnetit ein sehr häufiger, akzessorischer Gemengteil. Rutil in ovalen Körnchen ist durch das Gestein verstreut. Quarz kommt fast nur als Einschluß in den Plagioklasen vor und Serizit ist sehr selten in einen stärker angegriffenen Feldspat eingestreut. Granat erscheint nur ganz vereinzelt in sehr kleinen Individuen, während Pyrit, manchmal eng mit Epidot verbunden, schon makroskopisch wahrnehmbar wird.

Der dioritische Habitus dieses Gesteins wird noch durch das starke Auftreten basischer und saurer Schlieren vermehrt. Stellenweise wird es streifig und ist reichlich von Quarzadern durchtrümt.[1])

Gegen das Innere des Söldner Amphibolitstockes schließt sich an den dioritähnlichen Amphibolit ein sehr feinkörniges, massiges, dunkelgrüngraues Gestein an, das mit der Lupe sehr fein und gleichmäßig weiß und grünschwarz gesprenkelt erscheint. Unter dem Mikroskop fällt vor allem das starke Überwiegen und die fast durchwegs gute Entwicklung der kleinen Hornblendeprismen in die Augen. Der Plagioklas tritt gegen den dunklen Gemengteil sehr zurück. Die Hornblende ist nach ihrem optischen Verhalten dieselbe wie in den dioritähnlichen Formen, zeigt Neigung zu paralleler Anordnung.

[1]) Analyse des Gesteins, pag. 100.

Das Bild des Schliffes nähert sich einer Strukturform, die nicht leicht zu beschreiben ist. Hornblende und Plagioklas lösen sich in einer annähernd regelmäßigen Weise ab, wie die hellen und dunklen Felder eines Schachbrettes. Trotz der vom Quadrate abweichenden Form der Komponenten könnte diese Strukturvarietät vielleicht als „Schachbrettstruktur" bezeichnet werden. Diese ist an allen Amphibolit-Lokalitäten des Ötztales gefunden worden, kommt auch im Schwarzwald in guter Entwicklung, stets in naher Verbindung mit gabbroid struierten Amphiboliten vor.

Die Akzessorien dieses Söldner Gesteins sind dieselben wie bei den benachbarten dioritähnlichen Formen, nur fehlt der Rutil, wogegen Titanit sehr reichlich vorhanden ist. Von den Erzen überwiegt der Pyrit, der randlich oxydiert und immer von einer Zone gelbgrüner Epidotkörner umgeben ist; so bildet er rundliche Nester in dem feinen, gleichmäßigen Teppich des übrigen Gesteinsgewebes.

Der feinkörnige gewöhnliche Amphibolit wechsellagert besonders am Anfang des Profils Sölden noch mit dem dioritähnlichen. Bei der Annäherung an die mächtigen Kelyphit-Amphibolit- und Eklogitkomplexe, welche in den mittleren Teilen des Profils Sölden vorherrschen, verändern sich die gewöhnlichen Amphibolite auf charakteristische Weise, indem sie strukturell und nach dem Mineralbestand, besonders durch reichliches Auftreten vom Granat, den ersteren Gesteinen ähnlicher werden. Der Granat wird dann schon makroskopisch in kleinen Körnern sichtbar.

Außerdem gibt sich die Annäherung der rein körnigen Typen in die diablastischen dadurch kund, daß der Plagioklas in Bezug auf Form und Menge der Hornblende ungleichwertiger wird. Zwar verliert auch das Amphibolmineral seine eigene Gestalt mehr und mehr und nimmt die Form gestreckter, manchmal buchtiger Körner von sehr geringen Dimensionen an, aber der Plagioklas ist nur mehr Füllmasse.

Ein anderer Annäherungspunkt liegt darin, daß häufig rundliche oder längliche Nester der kleinen Hornblenden zugleich auslöschen. Interessant ist, daß diese Mittelform auch in Bezug auf den Kelyphitkranz eine mittlere Stellung einnimmt; der Granat wird, wie wir gesehen haben, bei den gabbroid struierten Amphiboliten oft in ein Aggregat krümeligen Epidots umgewandelt. In der Übergangsform kommen, neben kleinen rundlichen Granaten mit äuße-

rer Plagioklaszone, große, durch reichliche Quarzeinschlüsse ganz durchlöchert erscheinende Körner vor, die randlich in krümeligen Epidot, vermischt mit Hornblende und Magnetit, umgewandelt sind. Auch in den Rissen siedeln sich diese drei Mineralien an, oft so, daß die Mitte des Risses von einem Magnetitband eingenommen wird, während links und rechts von diesem Epidot mit wenig Hornblende eintritt, ganz ähnlich wie es bei den Kelyphitamphiboliten beschrieben wurde, nur daß dort leistige Hornblende allein statt des Epidots vorhanden ist. Akzessorien sind nur Rutil, Erze und etwas körniger Epidot. Quarz wird außer als Granateinschluß kaum gefunden.

Eine andere, noch mehr dem Kelyphitamphibolit genäherte Form des Profils Sölden fällt durch ihren Quarzreichtum auf. Den Hauptanteil am Gesteinsgewebe hat auch hier wieder die Hornblende, welche zum Teil in großen, zerrissenen und buchtigen Körnern auftritt, zum Teil in kleinkörnigen, mit Plagioklas verwachsenen, zugleich auslöschenden Aggregaten, welche die Formen der großen Körner nachahmen. Dieses Gesteinsgewebe erscheint aber wie in Fetzen und Schlieren auseinandergezerrt und oft nimmt undulöser Quarz die Räume zwischen den Trümmern ein. Granat tritt sehr reichlich in rundlichen, größeren Körnern auf, die von rechtwinkelig sich kreuzenden, klaffenden Rissen durchsetzt sind. Auf ihnen hat sich überall ein hellbrauner Glimmer angesiedelt, der sich manchmal bis zur fast vollkommenen Verdrängung des Granats vermehrt. Einzelne Blättchen sind in einer Weise mit Hornblende verwachsen, welche eine genetische Beziehung der beiden Mineralien vermuten läßt, indem ein Hornblendekorn von Streifen und Flecken des Biotits durchsetzt ist. Die akzessorischen Bestandmineralien sind die gewöhnlichen; nur ist der Rutil durch Titanit vertreten, der Apatit ziemlich reichlich.

Makroskopisch sind alle Varietäten des Profils Sölden schwer zu unterscheiden, denn das Korn ist im allgemeinen sehr gleichmäßig, der Granat tritt auch bei den Kelyphitamphiboliten nicht einsprenglingsartig hervor und der Kelyphitkranz bleibt undeutlich. Selbst der reine Eklogit unterscheidet sich nicht durch seine Farbe, sondern zeigt dasselbe Graugrün wie die Amphibolite, dasselbe gleichmäßige, feine Korn und einen oft fast sandsteinartigen Habitus. Bemerkenswert ist, daß die beiden Typen des Eklogitamphibolits hier fast ganz fehlen. Fast alle Gesteine des Profils

Sölden erscheinen makroskopisch massig; Paralleltextur ist nur durch die gestreiften Varietäten angedeutet. An Stellen, welche reichliche Rutschharnische zeigen, sind Strahlsteinlinsen eingeschaltet, so daß der Aktinolith hier die Rolle des „geologischen Schmiermittels" zu spielen scheint. Dieselbe Wahrnehmung wurde am Burgstein gemacht. Großen Klüften entlang kommt an mehreren Stellen ein sehr feinkörniger, stark geschieferter Amphibolit vor. Die Schichtung wird im Innern des Profils immer undeutlicher und durch eine unregelmäßige Klüftung ersetzt, welche den Eindruck hervorbringt, daß ein Eruptivstock vorliegt. Auf den Klüften hat sich reichlich gelbgrüner Epidot angesetzt, der auch sonst in Schnüren das Gestein durchzieht. Daneben erscheinen häufige Quarzknauern und vereinzelt bis faustgroße Pyritkonkretionen.

Anmerkung. Von einer detaillierten Ausführung des Profils Sölden, das über 70 Nummern einbegreift, wird hier abgesehen, da sie nichts Wesentliches zum Verständnis der untersuchten Gesteine beitragen würde. Ebenso später beim Burgstein.

β) Gewöhnliche Amphibolite vom Burgstein.

Sie nehmen neben der großen Menge der Eklogitamphibolite und Eklogite nur einen geringen Raum ein und sind so eng mit diesen verknüpft, daß sie nur den Charakter einer strukturellen Abänderung tragen. Die hier beschriebenen Varietäten wurden am Fuße des Burgsteins geschlagen, da, wo der nördliche Aufstieg ansetzt. Doch kehren sie in Wechsellagerung mit den oben genannten Gesteinen noch einigemale wieder.

Makroskopisch sind es wieder feinkörnige, dunkelgrüngraue, sehr gleichmäßige Gesteine mit meist nicht sehr ausgeprägter Paralleltextur. Die ziemlich reichlich vorhandenen kleinen Granaten liegen ohne Umrandung in scharfen Formen im Gesteinsgewebe, wenn frisch tiefrot, wenn angegriffen bräunlich oder hellrot und mehlig. Das mikroskopische Strukturbild ist sehr einfach. Die an Menge meist alle anderen Komponenten übertreffende Hornblende ist in kleinen, kompakten, zum Teil ganzrandigen, zum Teil buchtigen Körnern entwickelt; prismatische Tendenz ist stets vorhanden, doch sind die buchtigen Körner mehr isometrisch, die ganzrandigen, mit sehr ausgesprochener Parallellage nach c (Tafel V, Fig. 12), oft stark gestreckt. In demselben Handstück erscheint nur die eine

oder die andere Form. Bei den gestreckten Varietäten umwinden die Hornblenden den Granat manchmal. Der Plagioklas ist nur Füllmasse, während er in denen mit mehr isometrischen Hornblenden diesem Mineral nach Form und Menge eher koordiniert ist. Diese stehen der Gabbrostruktur näher. Die Hornblende dieser Gesteine ist die gewöhnliche bläulichgrüne, wobei der bläuliche Ton und die Farbenintensität auch wieder mehr oder weniger stark sein kann. Die Auslöschungsschiefe $c : c$ auf (010) $= 21^0$.

Der Plagioklas ist besonders bei einigen stark gestreckten Stücken ganz wasserklar und quarzähnlich, ohne Spaltbarkeit und polysynthetische Zwillingsbildung. Die weniger parallel texturierten Stücke haben gestreifte Plagioklase, die aber dann sehr stark angegriffen und mit Serizitblättchen und feinen Epidot- und Zoisitsäulchen von auffallend guter krystallographischer Entwicklung durchsetzt sind. Die Auslöschungsschiefen symmetrisch geschnittener Zwillinge waren:

$$\begin{matrix}10\\9\end{matrix}\Big\} 9{\cdot}5^0 \qquad \begin{matrix}8\\13\end{matrix}\Big\} 10{\cdot}5^0 \qquad \begin{matrix}11\\12\end{matrix}\Big\} 10^0 \qquad \begin{matrix}12\\12\end{matrix}\Big\} 12^0 \qquad \begin{matrix}10\\11\end{matrix}\Big\} 10{\cdot}5^0$$

Danach scheint Oligoklas-Andesin vorzuliegen. In einem Stück ist der Plagioklas fast ganz von Zoisit verdrängt, dessen schmale, lange Säulchen zu büschelförmigen Aggregaten zusammentreten, also als „Zoisitbesen" erscheinen. Zwischen den grauen Büschelchen leuchten dann eckige, splitterige Epidotkörner mit ihrem starken Rot und Gelb hervor. Zoisitbesen und Epidot einerseits und die Hornblende anderseits sammeln sich hier zu kleinen Linsen, die auch schon makroskopisch hervortreten.

Der Granat ist in diesen Varietäten selten gut erhalten. Meist geht er randlich und entlang seinen Rissen in krümeligen Epidot über. In einem sehr stark parallel struierten Stück finden sich rundliche Anhäufungen größerer formloser Epidotkörner, die wahrscheinlich frühere Granaten bedeuten. Ähnliche Pseudomorphosen, wie die letztere, beschreibt Cathrein (15) von Amphibolitgeröllen aus der Brandenberger Ache, nur ist dort das eine Mal der Epidot mit Hornblende verbunden, wie wir es auch schon bei früheren Typen beschrieben haben, das andere Mal mit Plagioklas und Skapolith. Merkwürdig ist, daß in den nicht diablastischen Amphiboliten der Granat niemals in Hornblende übergeht, daß dieser Übergang aber sofort wahrnehmbar wird, wenn Verwachsungen der Hauptgemengteile auftreten.

Neben der Pseudomorphose Epidot nach Granat erscheint nicht selten eine Pseudomorphose, in welcher der Granat hauptsächlich durch Chlorit ersetzt ist, der aber nie allein auftritt, sondern immer von Epidot und Zoisit begleitet ist. Der Chlorit erscheint in großen, fetzigen Blättchen von sehr hellem Blaugrün, daher fast ohne Pleochroismus und von so schwacher Doppelbrechung, daß er zwischen gekreuzten Nicols kaum aufhellt. An einer Stelle ist sehr schön zu sehen, daß der Chlorit nicht ursprünglich aus dem Granat entstand, sondern sich erst via Biotit bildete, denn hier bestehen noch die meisten Blättchen der Pseudomorphose zu einem Teil, manchmal bis über die Hälfte, aus hellbraunem Biotit. Auch sonst umzieht wohl Magnesiaglimmer öfter die Granatkörner. Es ist derselbe Biotit mit sehr kleinem optischen Achsenwinkel, der auch in den früher besprochenen Amphibolittypen des Burgsteins sich findet. In einer sehr gestreckten Varietät erscheinen längliche Mineralaggregate, die aus Biotit, Plagioklas und Epidot bestehen. Durch sie wird der

gleichmäßige Teppich der kleinen grünen Hornblenden mit ihrer Feldspatfüllmasse fleckig unterbrochen. Da wir dieselben Aggregate schon als Umwandlungsprodukte von Granat in Kelyphitamphibolite kennen gelernt haben, liegt die Vermutung nahe, es möchten auch hier umgewandelte Granaten vorliegen, umsomehr, als dieses Mineral in dem Vorkommnis fehlt. Sehr schön sind in einem Stück vom Burgstein Anwachszonen des Granats ausgebildet, indem sich an einen inneren Kern von der Form (110) schmale Quarz- oder Feldspatstreifen anlegen, an welche sich die äußere, randlich zerrissene und epidotisierte Granatzone anschließt. Manchmal läßt sich in eben dieser Weise noch eine Zwischenzone konstatieren. Die Akzessorien sind dieselben wie bei den gewöhnlichen Amphiboliten von Sölden, bemerkenswert ist nur die Form des Titanomorphits in den gestreckten Varietäten, von welcher nebenstehende Zeichnung ein Bild gibt.

Kataklastische Spuren sind bei den gewöhnlichen Amphiboliten des Burgsteins wie im Profil Sölden.

γ) Gewöhnliche Amphibolite von Umhausen.

Dieses Amphibolitvorkommnis am rechten Talgehänge, östlich vom Ort, ist eine kleine, kaum mehr als 25 *m* mächtige Einlagerung im Sedimentgneis, anscheinend wie dieser geschichtet und ihm konkordant. Die Schichten stehen beinahe saiger oder fallen schwach nach Süd oder Nord. Ihr Streichen geht Ost-West. An der Nordseite liegen einige Amphibolitfetzen im Paragneis. Die Einlagerung ist durch Steinbruchbetrieb sehr schön aufgeschlossen, nur die Südgrenze ist verwachsen. Mitten durch den Bruch ziehen zwei 30, resp. 60 *cm* breite Bänder des reichlich Disthen und etwas Staurolith führenden Gneises. Im Kontakt mit dem Nebengestein wird der sonst mittelkörnige Amphibolit des Bruches etwas grobkörniger, auch finden sich dort Bänderung und grob flachlinsige Texturen. Gelbgrüne Epidotschnüre mit reichlich eingebettetem Granat mehren sich in der mittleren Zone und am Rande. Die Klüfte sind wieder mit Epidot besetzt, der immer den spiegelnd glatten Beleg ihrer Rutschharnische bildet. Der Granatreichtum des Gesteins variiert stark. Granatarme Stellen sind gerne von weißen Feldspatschnüren durchsetzt. Mehr oder weniger deutliche Schieferung ist fast überall vorhanden. Die Farbe des Amphibolits ist dunkelgraugrün, an granatarmen Stellen fast schwarz. Trotz der strukturellen und mineralogischen Verschiedenheiten, welche wir kennen lernen werden, ist der Gesteinscharakter ein sehr einheitlicher und ernster. So gelang es leicht, Amphibolitblöcke bei Nesselbach im Piztal und bei Kaltenbrunn, zwischen Prutz und Feuchten im Kaunsertal, mit diesen Umhauser Gesteinen zu identifizieren; beide Lokalitäten liegen ungefähr in ihrer Streichrichtung; dagegen wurden in dem östlich vom Ötztal gelegenen, diesem parallelen Harnachertal Amphibolite von gleichem Charakter nicht gefunden; hingegen konnte konstatiert werden, daß die Amphibolite am Kreuzjoch (Pichler) wahrscheinlich eine östliche Fortsetzung der schmalen Zone sind, welche in der Nähe von Ötz durchstreicht und in deren Streichrichtung sie liegen.

Von den strukturellen Varietäten sind neben Kelyphitamphiboliten in sehr schöner Entwicklung hauptsächlich Amphibolite mit mehr oder weniger verwischter Gabbrostruktur und die Übergangsformen zwischen diesen beiden Strukturtypen vertreten.

Am Nordrand des Bruches schließen sich an den Sedimentgneis hornblendearme Biotit- und plagioklasreiche Zwischenglieder zwischen Kelyphitamphibolit und verwischt gabbroidem Amphibolit an. Dieselben sind deutlich geschiefert und gestreift. Mikroskopisch zeigt sich die Streifung als strichweise Anreicherung von Plagioklas im Wechsel mit Stellen, wo zu diesem Mineral Biotit, oder mit anderen, wo dazu Hornblende tritt. Die Biotitblättchen und Hornblendeleistchen liegen meist scharf parallel und letztere sind schmal und sehr gestreckt. In manchen Streifen löschen bestimmte Rayons solcher Hornblenden zugleich aus, ebenso wie die zwischenliegenden Plagioklase, gehören also schon zu den grobdiablastischen Gebilden. Solche granophyrartige, parallele Leistensysteme gleich auslöschender Körner können sich kreuzen, jedoch nur in Formen mit nicht sehr ausgesprochener Paralleltextur, wie sie mehr im Innern der Einlagerung erscheinen. Eine nur bei den Umhauser Amphiboliten schön entwickelte Verwachsungsform ist die myrmekitische, wobei die Hornblende das Feld, der Plagioklas die Warzen bildet. Die Regel, daß mit der größeren Menge des Feldspats der Granat seltener wird, trifft bei den plagioklasreichen Grenzamphiboliten der Umhauser Linse nicht immer zu. Aber der Granat ist sehr schlecht entwickelt und liegt zerrissen und trümmerartig zwischen den stark saussuritisierten Plagioklasen, ganz ähnlich wie er in dem metamorphen Gabbro des Allalingebietes vorkommt. Wo der Granat nicht ganz trümmerartig, sondern nur sehr rissig ist, erscheint das mittlere Magnetitband mit seiner beiderseitigen Plagioklas- und Hornblendeleistenreihe, hier aber unter Überwiegen des farblosen Komponenten. Magnetit ist auch in den feldspatreichsten Varietäten von Umhausen sehr reichlich vorhanden. Mit letzteren wechsellagern Kelyphitamphibolite bis etwas über die Mitte des Bruches. Dort erscheint eine mächtige Bank fast granatfreien, feldspatarmen Amphibolits mit nur wenig verwischter Gabbrostruktur. Doch liegen die großen, länglichen Hornblenden annähernd parallel und neigen sehr zu selbständiger Form, während der Plagioklas, der hier fast wasserklar und meist ohne Streifung und Spaltbarkeit ist, mehr nur die Zwischenräume füllt. Längliche Epidotkörner, oft von kleinem Gekörnel derselben Natur umgeben, sind reichlich mit ihm verbunden. Dazu treten die gewöhnlichen akzessorischen Gemengteile der gabbroiden Amphibolite: Erze, Rutil, Titanit und Apatit. Das

zuletzt beschriebene Gestein hat die am intensivsten gefärbte Hornblende der ganzen Einlagerung. Der gewöhnliche Pleochroismus (c blaugrün, b grün, a grüngelb) ist außerordentlich ausgeprägt. Nach einer Anzahl Messungen auf (010) ergaben sich folgende Auslöschungsschiefen c : c: 21°, 20°, 19°, 20°, 21°, 21°, 21°, 21°, 22°, 19°, 19°, 22°, also Mittel 20°—21°; Doppelbrechung 0·020. Die etwas granatreicheren Nachbarlagen und die Kelyphitamphibolite haben Hornblenden von fast derselben Farbentiefe, die Grenzglieder dagegen zeigen das Blaugrün viel weniger deutlich und sind oft fleckig. Letzteres ist wohl eine Zersetzungserscheinung, denn es ist dann mit dem Amphibolitmineral stets viel Karbonat verbunden und stellenweise geht es in Chlorit und Epidot über. Überhaupt ist der Erhaltungszustand der Umhauser Amphibolite ein außerordentlich verschiedener, was sich leicht aus der lokalen Zerklüftung der Linse erklärt.

Um die chemische Natur der blaugrünen Hornblende klarzulegen, wurde dieselbe aus einem ziemlich grobkörnigen und relativ granatreichen Stück ausgelesen und analysiert. Die Verwachsungen des Minerals mit Plagioklas, die eben auch hier nicht ganz fehlen, beeinträchtigen die Reinheit des Minerals etwas mehr als bei den anderen Mineralanalysen, daher die geringere Übereinstimmung der gefundenen und berechneten Werte.

	Aufschluß mit Soda	Aufschluß in Flußsäure		Mittel		Aus der Formel berechnet
SiO_2	46·68			46·68	47·03	47·53
TiO_2	0·35	0·35		0·35		
Al_2O_3	14·33	14·41		14·37		14·44
Fe_2O_3	3·95	4·05		4·00		3·23
FeO			8·29	8·29		8·71
CaO	10·29	10·35		10·32		11·24
MgO	11·71	11·71		11·71		12·20
K_2O		1·06		1·06		3·13
Na_2O		2·41		2·41		
H_2O unter 110°			0·23	0·23		
H_2O über 110°			0·54	0·54		
				99·96		100·47

Spezifisches Gewicht: 3·29.

Aus der Analyse wurde folgende Formel berechnet:

$$2\ (Na\,K)_2\ Al_2\,Si_4\,O_{12}$$
$$6\ Ca\,(Mg\,Fe)_3\ (Si\,O_3)_4$$
$$6\ Ca\,Mg\,Al_2\,Si\,O_6$$

Der Granat desselben Stückes hat folgende chemische Zusammensetzung:

	I. Analysiert		II. Aus der Formel berechnet
SiO_2 . . .	37·97	38·39	38·38
TiO_2 . . .	0·42		
Al_2O_3 . . .	19·18	21·79	21·64
Fe_2O_3 . . .	2·61		
FeO . . .	26·35		26·14
CaO . . .	9·47		10·16
MgO . . .	3·80		3·64
MnO . . .	0·18		
	99·98		99·96

Spezifisches Gewicht: 4·3.

Aus der Berechnung der Analyse ergab sich folgende Formel:

$$4\ (Si\,O_4)_3\ Al_2\,Fe_3$$
$$2\ (Si\,O_4)_3\ (Al\,Fe)_2\ Ca_3$$
$$(Si\,O_4)_3\ Al_2\ Mg_3$$

Der Plagioklas der Umhauser Einlagerung liegt gewöhnlich in sehr schlechtem Erhaltungszustand vor. Es läßt sich hier in kleinem Raume schön beobachten, wie aus einem Plagioklas-Amphibolit ein Epidot-Amphibolit wird, besonders bei den feldspatreichen, schiefrigen Gesteinen, welche an den Paragneis grenzen. Die Verwitterungsstadien lassen sich folgendermaßen charakterisieren:

1. Stadium: Der Plagioklas ist trübe, leicht staubartig angefressen, aber die Zwillingsstreifung ist noch deutlich; winzige Epidotkörnchen und Hornblendesäulchen sind über die grauen Schlieren gesät.

2. Stadium: Eine dichte, optisch inaktive Kaolinmasse ist an die Stelle der Plagioklaskörner getreten; zuweilen schimmert die Lamellierung noch etwas durch; größere Epidotsplitter unterbrechen das Grau der tonigen Masse.

3. Stadium: Statt der Feldspatzüge erscheinen Streifen lebhaft gelb und rot polarisierender länglicher Epidotkörner.

Die Plagioklase zeigen sich meist schon durch ihre Verwitterungsprodukte als ziemlich kalkreich, da dieselben hauptsächlich aus Epidot, Zoisit und Kalkspat bestehen. Über die Natur der wasserklaren Feldspäte, die in kleineren, rundlichen Körnern auftreten, läßt sich durch die mikroskopische Untersuchung kein Urteil gewinnen, weil alle Anhaltspunkte, wie Streifung und Spaltbarkeit, fehlen. Da die Analyse (pag. 73) des Umhauser Amphibolits ziemlich viel Na_2O ergab, scheinen Albite vorzuliegen. Die angewitterten Plagioklase sind in Bezug auf ihre Form der Hornblende eher äquivalent.

Es gelangen einige Messungen an symmetrisch auslöschenden Zwillingen: 12 \ 13 / 12·5°, 16 \ 16 / 16°, 8 \ 9 / 5·5°

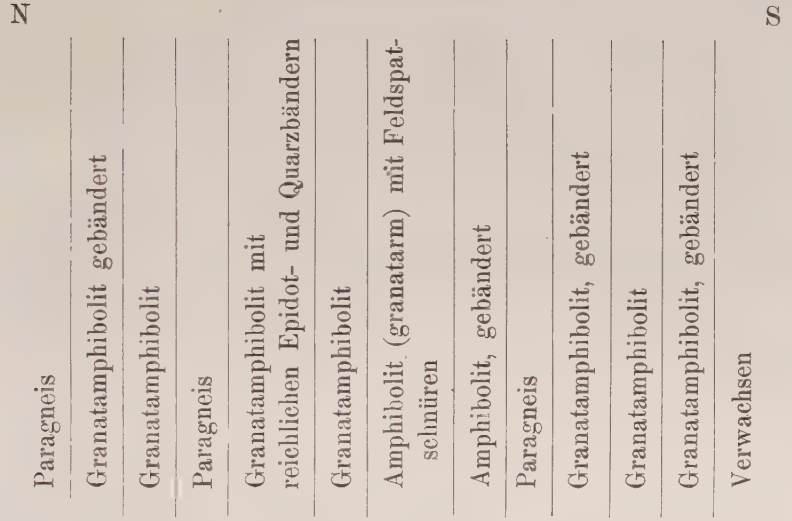
Auf Schnitten nach der Basis, konstatiert durch die allerdings zum Teil unsicheren Faktoren des Vorhandenseins nur einer Spaltbarkeit und durch das Fehlen des Schattens der optischen Achsenebene im konvergenten Licht, löschten $a : a$ mit 14°, 15°, 17° und 18° aus. Danach sind diese Plagioklase Andesin-Labradore. Der in einigen Lagen auftretende Pyroxen wurde schon früher besprochen. Er unterstützt durch seine Gestalt das gabbroide Aussehen der ihn führenden Amphibolite. Biotit ist überall vorhanden und umzieht in Lagen die Hornblendelinsen und den Granat. Der Pleochroismus ist braun parallel der Spaltbarkeit, braungelb $\perp$ dazu; der optische Achsenwinkel ist 0 oder fast 0°.

Die übrigen Akzessorien sind die gewöhnlichen. Kataklastische Spuren sind nur durch undulös auslöschende Quarze und Albite gegeben.

Die Umhauser Amphibolite sind ein schönes Beispiel dafür, daß der Wechsel in der Zonenlage das in einer gewissen Tiefenstufe entstandene Gepräge eines Gesteins selten ganz zu verwischen vermag. Die grüne Hornblende in allen ihren Gestaltenvariationen, die Plagioklase, der Granat, der Pyroxen und wohl auch der Biotit waren die Produkte tieferer Zonen. Das Gestein kam in höhere Horizonte, in den Gürtel der Verwitterung. Da begann die Saussuritisierung und Epidotisierung der Plagioklase, die Chloritisierung und Epidotisierung der Hornblenden und Biotite, die Karbonatbildung aus allen calciumhaltigen Komponenten. Aber die sekundäre Natur aller dieser Umwandlungsprodukte ist nach der Art ihres Auftretens

und ihrer Verknüpfung mit den Ausgangsmineralien ganz zweifellos, die Strukturen der Tiefe werden durch die Formen der Neubildungen niemals verdeckt.

Profil Umhausen.



δ) Amphibolite höherer Horizonte.

An die gewöhnlichen Amphibolite, welche in enger Verbindung mit den Eklogiten und ihren Derivaten auftreten, schließt sich nach Mineralbestand und durch strukturelle Analogien eine Gruppe von Amphiboliten an, welchen diese Gefolgschaft fehlt. Sie stammen von der Granatenwand bei Obergurgel sowie aus dem Passeiertal; vom Schneeberg, der Gürtelscharte, Schönnaralpe und -Scharte und aus dem Raffeinertobel in Lana bei Meran. In Bezug auf den Mineralbestand sind sie von den zuletzt beschriebenen Vorkommnissen nur durch das oft sehr reichliche Auftreten von Quarz unterschieden, der bei manchen von ihnen anstatt des Feldspats den zweiten Hauptgemengteil des Gesteins bildet. Strukturell lassen sich zwei Formen unterscheiden, durch Mittelglieder verbunden, eine gabbroide und eine stark geschieferte. Die gabbroide Form in reiner Entwicklung ist nur durch den Amphibolit vom Raffeinertobel vertreten, der außerdem durch seine Quarzarmut auffällt. Die großen, buchtigen Hornblenden (c blaßbläulichgrün, b blaßgrün, a gelblich; $c = b > a$; Auslöschungsschiefe

$c : c = 19^0$ auf (010) bilden mit den ihnen formell gleichwertig entwickelten Andesinen (symmetrische Auslöschungsschiefe $\left.\begin{matrix}16\\16\end{matrix}\right\}$ 16^0

$\left.\begin{matrix}19\\21\end{matrix}\right\}$ 20^0 $\left.\begin{matrix}9\\10\end{matrix}\right\}$ $9^1/_2{}^0$ $\left.\begin{matrix}5\\5\end{matrix}\right\}$ 5^0 $\left.\begin{matrix}14\\15\end{matrix}\right\}$ $14^1/_2{}^0$ $\left.\begin{matrix}14\\15\end{matrix}\right\}$ $14^1/_2{}^0$ $\left.\begin{matrix}13\\13\end{matrix}\right\}$ 13^0

$\left.\begin{matrix}14\\16\end{matrix}\right\}$ 15^0 $\left.\begin{matrix}16\\18\end{matrix}\right\}$ 17^0 $\left.\begin{matrix}13\\15\end{matrix}\right\}$ 14^0 $\left.\begin{matrix}13\\15\end{matrix}\right\}$ 14^0) fast allein den Mineralbestand. Nur akzessorischer Granat mit zentral gehäuften Feldspat- und Hornblendeeinschlüssen, reichlicher Titanit und etwas Magneteisen treten hinzu.

Aus der Schönnarscharte und von der Schönnaralpe stammen annähernd richtungslos körnige Amphibolite, mit großen, buchtigen, bräunlichgrünen Hornblenden {c bräunlichgrün, b grün, a gelblich; $c = b > a$; $c : c = 21^0$ auf (110)} welche mit so viel gelbbraunem Biotit vermischt sind, daß er an Menge die Hornblende manchmal erreicht. Die Lücken zwischen diesen beiden Gemengteilen sind von wenig Quarz und Feldspat erfüllt. Granat, in rundlichen Körnern oder ganz zerfallend, ist häufig. Dazu treten viel Rutil und Titaneisen, Titanit und schön geformter Apatit. Außer den beiden zuletzt genannten Komponenten sind alle so einschlußreich und poikilitartig miteinander verwachsen, daß sie einen förmlich siebähnlichen Eindruck machen. Am auffallendsten ist dies beim Rutil und Titaneisen, die so von Quarz, Plagioklas und Hornblende durchsetzt sind, daß sie ganz skelettartig erscheinen. Durch ähnliche Ausbildungsweise dieser letzteren Komponenten schließen sich die übrigen Amphibolite von der Schönnaralpe, vom Schneeberg, der Gürtelscharte und von Obergurgl an die vorigen Gesteine an. Es sind dies die stark geschieferten, quarzreichen und plagioklasarmen Typen. Die besonders nach ihren Seitenflächen gut krystallographisch entwickelte, oft gestreckte Hornblende verhält sich optisch wie die zuletzt beschriebene. Sie reichert sich in Zügen und Schlieren an, welche eine sehr ausgesprochene Parallellage der Amphibolitprismen zeigen und mit quarzreichen Lagen wechseln. Den Granat umziehen die Schlieren meist im Bogen und nehmen, wo sie an ihn grenzen, Biotit auf. An sie ist durch Biegungen und leichte Fältelung oft eine ausgezeichnete Phyllittextur geknüpft. Der Granat selbst zeigt zuweilen eine leichte Streckung in der Richtung der Schlieren. Das häufig beobachtete Aussetzen der dunklen Komponenten in der Granatnähe

hat vielleicht seinen Grund darin, daß sie bei ihrer substantiellen Ähnlichkeit mit dem Granat nicht mehr zur Entwicklung kommen konnten, weil alles vorhandene Material zum Aufbau dieser krystallisationskräftigen Komponenten verbraucht wurde. Es bleibt kaum ein Zweifel, daß diese quarzreichen, phyllitartig texturierten Amphibolite sedimentären Ursprungs sind. Sie sind daher von den Gesteinen des mittleren Ötztals ganz abzutrennen. In ihrer Schieferung gibt sich Bildung unter „Streß“ zu erkennen; aus ihren geringen kataklastischen Spuren und der gut entwickelten Hornblende weitgehende Umkrystallisation und aus ihrem Mineralbestand eine mittlere Tiefenstufe. Die mehr massigen Gesteine von der Schönnaralpe und -Scharte mit ihrer ausgesprochenen Siebstruktur unterscheiden sich wohl nur durch Entstehung unter mehr allseitigem Druck von den geschieferten, während der Amphibolit des Raffeinertobels vielleicht kein Sediment ist.

2. Krystalloblastische Reihe der Mineralien der gewöhnlichen Amphibolite.

Die letzte Gruppe der Amphibolite ist in bezug auf die Reihenfolge der Mineralien nach ihrer Krystallisationskraft ziemlich regellos, indem dieselbe Komponente krystallographisch sehr gut und sehr schlecht entwickelt sein kann. Dies gilt indessen nur für jene Mineralien, welche sich gewöhnlich als ziemlich krystallisationskräftig erwiesen haben, hauptsächlich für die Hornblende, für Granat, Titanit, Rutil und Erze. Besonders die Hornblende erscheint in manchen Varietäten gut geformt, in andern, sehr nahe mit diesen verknüpften, ganz formlos. Darum leidet die hier folgende Reihe in erhöhtem Maße an den Mängeln individueller Schätzung: 1. Titanit und Rutil. 2. Apatit. 3. Hornblende. 4. Zoisit. 5. Granat und Erze. 6. Epidot. 7. Biotit. 8. Kalknatronfeldspäte. 9. Albit und Quarz. 10. Karbonat.

3. Bildungsbedingungen.

Die Strukturen und Texturen der letzten Gruppe gestatten nur in geringem Maße Schlüsse auf die Tiefenstufe ihrer Entstehung; denn Umwandlung mit Erhaltung der Struktur, wie bei den echt gabbroiden Amphiboliten, ist in allen Tiefenstufen möglich, da statische Massenzustände überall herrschen können. Jedoch über-

wiegen im allgemeinen die parallel struierten Varietäten, so daß auf Entstehung unter „Streß“ gedeutet werden muß, dessen Hauptgebiet die mittlere Zone ist, der oft aber auch in große Tiefen geht. Nur die 2. Gruppe der gewöhnlichen Amphibolite zeigt bedeutende kataklastische Spuren, während bei den Varietäten mit mehr selbständig gestalteten Hornblenden die chemische Beeinflussung die mechanische offenbar weitgehend kompensiert hat. Es muß aber bemerkt werden, daß richtungslose und parallele Texturen in engem Raum wechseln.

Maßgebend für die Feststellung der Bildungszone der gewöhnlichen Amphibolite ist neben dem Mineralbestand die untrennbare Verknüpfung mit den Kelyphitamphiboliten, die unzweifelhaft Produkte der Tiefe sind. Diese Verknüpfung ist stets so, daß die verschiedenen Typen nicht anders denn als Strukturvarietäten eines einheitlichen Gesteinskörpers aufgefaßt werden können. In bezug auf den Mineralbestand, der in der Hauptsache mit dem der Kelyphitamphibolite übereinstimmt, kann auf das dort Gesagte verwiesen werden. Es muß nur noch einmal auf die größere Granatarmut und auf die oft sehr weitgehende Ersetzung des Plagioklases durch Zoisit und Epidot hingewiesen werden, in Formen, die durchaus nicht immer das Gepräge oberflächlicher Verwitterung tragen, besonders in Stücken, in welchen die Hornblende vollkommen frisch ist. Diese beiden letzteren Tatsachen verweisen auf eine nicht ganz große Tiefe der Entstehungszone, wozu als weitere Bestätigung die Bestandunfähigkeit des Pyroxens tritt.

Das Vorhandensein von Granat oder von Feldspat scheint weniger vom Chemismus des Gesteins als von seinen physikalischen Entstehungsbedingungen abhängig zu sein. Die Analyse eines gewöhnlichen, fast granatfreien Amphibolits von Sölden (pag. 100), in die Gruppe c gehörig, ergab Zahlen, die sehr wenig von denen der Analysen granatreicher Amphibolite abweichen. Dagegen ist die Dichte des feldspatreichen Gesteins die geringste.

Uber die physikalischen Bedingungen, welche der Granatbildung an Stelle von Plagioklas zugrunde liegen, dürften vielleicht folgende Punkte einige Aufklärung geben; sie sind freilich nur aus den allgemeinsten Zügen der großen Amphibolitgruppen abgeleitet, denn im einzelnen erscheint sofort eine verwirrende Menge von Abweichungen:

1. Die in der Regel massigen Typen mit diablastischen Strukturen führen den Granat als Hauptgemengteil; er ist Akzessorium

in jener Gruppe, welche am häufigsten und ausgesprochensten Schieferung zeigt. Demnach ist ein dem hydrostatischen genäherter Druck seiner Bildung günstig.

2. Von allen hieher gehörigen Gesteinen haben die Eklogite[1]) und die ihnen zunächststehenden Eklogitamphibolite, also die ganz oder fast ganz feldspatfreien und pyroxenreichen Glieder den meisten Granat. Auch Schalch (18) beobachtet in den Schwarzwälder-Amphiboliten eine gewisse Parallelität von Pyroxen und Granat. Die Typen der größten Tiefe sind die granatreichsten, mit der Entwicklung der Hornblende aus dem Pyroxen in höheren Lagen beginnt auch die Ersetzung des Granats durch Hornblende und Feldspat.

Über das Nebeneinandervorkommen der Titanmineralien und die Fälle, in welchen sie einander vertreten, konnte keine Regel gefunden werden. Der Titanit fehlt in den Eklogiten und Eklogitamphiboliten fast ganz. Erst bei den Kelyphitamphiboliten tritt er ein, zunächst als Titanomorphit, Rutil und Titaneisen begleitend. In den gewöhnlichen Amphiboliten erscheint er auch in selbständiger Form und kann den Rutil ganz vertreten. Jedoch führen auch einzelne Vorkommnisse der letzteren Gruppe nur Rutil und Erz. Demnach scheint der Rutil, übereinstimmend mit seinem kleinsten Molekularvolumen, am meisten der größten Tiefe anzugehören, der Titanit mehr den mittlern Stufen, während das Titaneisen sich als echter Überläufer beträgt.

4. Chemismus.

Der gabbroide Charakter der chemischen Zusammensetzung bleibt auch den gewöhnlichen Amphiboliten des mittleren Ötztals wie aus der folgenden Analyse des dioritähnlichen Amphibolits aus der Söldnerserie hervorgeht.

Im übrigen muß die chemische Gleichheit der letzten Gruppe mit den früher behandelten auch schon aus ihrer untrennbaren Verknüpfung mit diesen geschlossen werden.

Mehr oder weniger deutliche Spuren der ursprünglichen Eruptivgesteinsstrukturen wurden in Umhausen, bei Aschbach und auf der Breitlehneralpe gefunden. Außerdem geben sich die einzelnen Vorkommnisse durch den intrusiven Charakter ihrer Lagerung, durch

[1]) Eine Ausnahme macht der Eklogit vom Jaufenberg und die Eklogite aus dem Waldviertel.

ihre unregelmäßige Schichtung und stark ausgeprägte Klüftung als eruptiven Ursprungs zu erkennen.

	Sodaaufschluß	Flußsäureaufschluß		Mittel
SiO_2	48·77	—		48·77
TiO_2	0·85	0·91		0·88
Al_2O_3	18·71	18·76		18·74
Fe_2O_3	7·24	7·19		7·21
FeO	—	—	3·43	3·43
CaO	9·47	9·47		9·47
MgO	5·90	6·00		6·00
K_2O	—	1·13		1·13
Na_2O	—	3·24		3·24
H_2O unter 110°			—	—
H_2O über 110°			1·04	1·04
				99·91

Spezifisches Gewicht 2·910.

Wie aus einem Gabbro oder Diabas ein Amphibolit hervorgeht, ist schon vielfach beobachtet und in der Literatur beschrieben worden. Wenn man die Arbeiten der letzten Dezennien über Gabbrogesteine durchgeht, findet man nur wenige, in welchen nicht von beginnender Umwandlung der Komponenten die Rede ist, die schließlich zur Amphibolitisierung des Gabbro führen müßten, viele, welche den vollständigen Übergang des Eruptivgesteins in den krystallinen Schiefer konstatieren. Eine meisterhafte Darstellung dieses Überganges findet sich bei Lehmann (35). Die Gabbrolinsen, welche im sächsischen Granulitgebirge dem Granulit eingelagert sind, sind randlich und in z. T. abgequetschten schweifartigen Massen in Amphibolit umgewandelt, indem durch Zertrümmerung und damit Hand in Hand gehender Umkrystallisation die großen Diallage und rhombischen Pyroxene sich in Hornblende und Biotitlagen von kleiner Längserstreckung umbilden, die Labradore in Saussuritstreifen; daneben findet im geringen Maße Granatbildung statt.

Becke (6) beschreibt pag. 557 den Übergang eines Gabbro in Amphibolit aus dem Waldviertel. In einem Vorkommnis von Olivingabbro vom Loisberg geht der Diallag in dunkelgrüne, stengelige Hornblende über. Der Olivin wandelt sich in ein dichtes Aggregat hellerer Hornblendenädelchen um. In einer kaum 3 *cm* breiten Zone wird dieser metamorphe Gabbro zum schiefrigen Amphibolit, indem

die Olivin- und Diallagpseudomorphosen zuerst elliptisch, dann zu Streifen abgeflacht, der Feldspat feinkörniger wird.

In der Schäferschen (13) Arbeit über die metamorphen Gabbrogesteine des Allalingebietes werden interessante Fingerzeige gegeben über die Herausbildung von Granatamphibolit aus einem Gabbro, in dem Olivin und Plagioklas in ein Gemenge von Talk-Aktinolith-Granat übergehen.

Sehr ähnlich verhält sich ein von Törnebohm (64) beschriebener norwegischer Gabbro, wo der Augit in feinkörnige grüne Hornblende übergeht und der Olivin von einer Granatzone umgeben ist, während derselbe Verfasser an einem Diabas die Umwandlung von Olivin in Hornblende (Viridit) und ebenso von Augit in Hornblende beobachtet.

Aus dem Ultental berichtet Hammer (22) von einem Bronzit-Olivinfels, in welchem sich in auffallender Weise der sonst leicht vergängliche Olivin erhält, während der rhombische Pyroxen durch monokline Hornblende ersetzt wird. Daneben bildet sich Granat.

Im Gabbro du Pallet (23) wandelt sich der Olivin durch sich verbreiternde reaction rims in Aktinolith um, der Diallag durch Uralitisierung in Hornblende. Das Schlußglied ist ein gewöhnlicher Amphibolit.

Den Granatfels von Gadernheim im Odenwald hält Chelius (24) für umgewandelten Diabas oder Gabbro; das Olivingestein des Böllersteingebietes geht in Granatfels über.

Im Val Savaranella beobachtet Novarese (65) Diorite, deren braune Hornblende in strahlenartige und deren Andesine in Epidot + Albit übergehen.

In Lawrence County, New York (25) entsteht aus einem Gabbro ein Amphibolit, indem sich der Feldspat in Skapolith, der Augit in Uralit verwandelt. Bei weitergehender Metamorphose sollen Rückbildungen eintreten.

Der Diabas und Gabbro der Insel Giglio (66) amphibolitisiert sich durch Umwandlung des Plagioklases in Zoisit-Epidot, des Augits in verschiedene Hornblendearten.

Im dynamometamorphen Gabbro von Umbria (27) erscheint Hornblende auf Bruchklüften des Diallags und Plagioklases.

Ein Lherzolith der Pyrenäen zeigt nach Lacroix (28) 3 Modi der Amphibolitisierung:

1. Es tritt Uralitisierung des Pyroxens ein, begleitet von dynamischen Phänomenen.

2. Die das ganze Gestein durchziehenden Spalten füllen sich mit Hornblende und Dipyr. Durch Verbreiterung der Adern entsteht ein Hornblende + Dipyrgestein, aus größeren Individuen zusammengesetzt.

3. Kleine Partien von Lherzolith umgeben sich kelyphitartig mit sich verbreiternden, grünen kompakten Massen, die aus Hornblende, Anorthit und Spinell bestehen.

Die Amphibolite des Massivs de Belledonne stellen sich nach Duparc (29) als uralitisierter Gabbro dar.

Im Gabbro vom westlichen Ufer des Lake Champlain wandeln sich die Plagioklase in Saussurit um und Granat ist auf eine Weise mit Augit verwachsen, daß man ihn von diesem herleiten möchte.

Williams (67) beschreibt einen Hypersthengabbro von Baltimore, in welchem der rhombische Pyroxen und die braune Hornblende sich in grüne umwandeln.

Im metamorphen Gabbro von Routivare in Norbotten ist nach Petersen (65) der Plagioklas mit Zoisit durchwachsen, wozu Talk, Muscovit und Granat tritt. Der Serpentin ist teilweise in braunen Glimmer umgewandelt mit farblosem monoklinem Amphibol. Grüne Hornblende ist von braunem Glimmer umgeben. Die Textur des Gesteins ist linear durch die parallele Lage der dunklen Gemengteile.

Ein im oberen Potal (69) anstehender Gabbro metamorphosiert sich durch folgende Umwandlungen: Feldspat in Zoisit, Muscovit, Talk; Diallag in Smaragdit. Nebenprodukt: blaßroter Granat.

Fr. D. Chester (70) beobachtet an einem Gabbro den Übergang von Hypersthen in kompakte grüne Hornblende via Tremolitfasern, während der Diallag durch direkte molekulare Umlagerung zu kompakter Hornblende wird.

Im Gabbro von Studene bei Eule findet die Umbildung in ein Amphibolitgestein durch den Übergang von Diallag und Bronzit in Hornblende und von Labrador-Anorthit in Albit und Tremolit statt.

Die Zahl solcher Beispiele ließe sich wohl noch bedeutend vermehren, indessen genügen diese, um den offenbar sehr regelmäßigen und sich überall gleichbleibenden Gang der Metamorphose des Gabbrogesteins in Amphibolit anschaulich zu machen. Stets gehen die Mg-Fe-Silikate des Eruptivgesteins in irgend einen Amphibol, gewöhnlich grüne Hornblende über, die Plagioklase in ein Kalk-Tonsilikat, während der Granat in der Regel aus der Wechselwirkung der beiderlei Komponenten entspringen dürfte. Findet der Übergang

unter statischen Massenzuständen oder allseitigem Druck statt, dann bleibt die Struktur des ursprünglichen Gabbrogesteins vielfach erhalten; ist die Umkrystallisation von „Stress“ begleitet und durch Zertrümmerung der Gesteinskomponenten unterstützt, so wird das ursprüngliche Gesteinsgefüge vollständig verwischt und es bilden sich gestreifte, gestreckte oder geschieferte Amphibolite heraus.

V. Resultate.

1. Die Amphibol-Pyroxengesteine des mittleren Ötztales lassen sich strukturell in vier große Gruppen einteilen. Da dieselben weitgehende chemische Übereinstimmung zeigen (Gabbromagma) und geologisch untrennbar verbunden sind, da sie ferner alle Übergänge unter einander aufweisen, können sie nur als strukturelle Varietäten einheitlicher Gesteinskörper gelten.

2. Ein Teil der Amphibolite (Eklogitamphibolite) läßt sich genetisch von den Eklogiten ableiten. Die Differenzen aller Typen in Bezug auf Gefüge und Mineralbestand sind einzig Modifikationen in den Entstehungsbedingungen (Tiefenstufe, Druck) zuzuschreiben.

3. Der in der größten Tiefe sich bildende Eklogit geht bei Versetzung in höhere Zonen in Amphibolit über, indem sowohl der Omphazit als der Granat sich amphibolisieren.

4. Der Übergang des Omphazits in Hornblende geschieht unter randlicher Zerfaserung auf zwei Arten. Bei der ersten Art bleiben die Fasern sehr fein (optisch unfaßbar, kryptodiablastische Struktur) bis das ganze Pyroxenmineral ersetzt ist. Es resultiert daraus ein dichter, splittriger nephritartiger Amphibolit mit eingesprengten Granaten, welche z. T. randlich in grüne körnige Hornblende übergegangen, z. T. ganz durch dieses Mineral ersetzt sind (Typus I). Bei der zweiten Art wird die aus dem Omphazit hervorgehende Hornblende proportional der Entfernung vom restierenden Omphazitkern gröber und körniger (Typus II), während sich der Granat wie im Typus I verhält.

5. Die intensivste Umkrystallisation zeigt der Kelyphitamphibolit. Der Pyroxen ist ganz verschwunden, die Hornblende tritt in granophyrartiger Verwachsung mit Plagioklas auf. Der Granat ist von einer im allgemeinen radialstengeligen Zone von grüner Hornblende

und Plagioklas umgeben, welche wieder ein Magnetitkörnerkranz umzieht (Kelyphit).

6. Die Umwandlung des Granats in Hornblende in Typus I und II und in Kelyphit kann nicht als reine Pseudomorphose angesehen werden, da die Grenze des Granatkerns von den Neuprodukten sehr oft nicht eingehalten wird. Dieselben erfordern eine so starke Wechselwirkung des Granats mit den anliegenden Komponenten, („reaction rims" Kemp [30]), daß sie nicht anders denn als Mitteldinge zwischen Pseudo- und Perimorphose aufgefaßt werden können.

7. Außer der Umwandlung des Granats in Hornblende erscheinen seltener Pseudomorphosen

a) von Epidot nach Granat,

b) von Epidot und Zoisit nach Granat,

c) von Biotit nach Granat,

d) von Plagioklas und Biotit nach Granat,

e) von Chlorit, Epidot und Hornblende nach Granat.

8. Neben den granatreichen Amphibolittypen mit diablastischer Struktur erscheinen stets feldspatreiche Formen mit noch erhaltener oder durch mechanische Einwirkungen während der Umkrystallisation verwischter Gabbrostruktur. Sie nehmen in den großen Amphibolitstöcken (Burgstein, Sölden) hauptsächlich die Stockgrenzen ein.

Zürich, den 9. Februar 1903.

Mineralog.-Petrograph. Institut
des eidgenössischen Polytechnikums.

Erklärung der Photographien.

(Alle Photographien sind im gewöhnlich enLichte mit Benützung des Objektivs 4, Harnack, hergestellt.)

Nr. 1. Eklogit von Sölden mit Anfängen der Pyroxenzerfaserung.

Nr. 2. Eklogitamphibolit (Typus I) aus dem Sulztal. Die Pyroxene sind schon ganz in nephritartige Grundmasse aufgelöst, der Granat zeigt den kompakten Hornblendekörnerkranz.

Nr. 3. Eklogitamphibolit (Typus II) vom Burgstein. Pyroxenkerne sind innerhalb der schon etwas gröberen Zerfaserung noch erhalten.

Nr. 4. Fast vollendete Umwandlung des Granats in Hornblende aus einem Eklogitamphibolit aus dem Sulztal.

Nr. 5. Kelyphitamphibolit vom Burgstein. Granophyrartige Verwachsung von Hornblende und Plagioklas. Der Granat zeigt einen schmalen Kelyphitkranz.

Nr. 6. Weit fortgeschrittene Kelyphitisierung des Granats aus einem Kelyphitamphibolit von Aschbach.

Nr. 7. Kelyphitartige Bildungen, die Risse im Granat erfüllend. Burgstein.

Nr. 8. Randliche Umwandlung des Granats in Plagioklas und Biotit, aus einem Kelyphitamphibolit vom Burgstein.

Nr. 9. Rhombische Pyroxene mit dem Doppelhof von Chlorit und Epidot aus einem Eklogitamphibolit vom Typus I, aus dem Profil Sölden.

Nr. 10. Rechtwinklige Klüftung im Granat und Quarz aus einem Kelyphitamphibolit vom Burgstein.

Nr. 11. Amphibolit mit Gabbrostruktur von der Breitlehner Alpe.

Nr. 12. Amphibolit mit verwischter Gabbrostruktur von Sölden.

Literaturverzeichnis.

1. R. Rieß: Untersuchung über die Zusammensetzung des Eklogits. Tscherm. Min.-petr. Mitt. I, 1878.
2. R. v. Drasche: Über die mineralog. Zusammensetzung des Eklogits. Tscherm. Min.-petr. Mitt. 1871.
3. P. Lohmann: Neue Beiträge zur Kenntnis des Eklogits vom mikroskop., mineralog. und archäolog. Standpunkt. N. J. für Min., Geolog. und Paläont. 1884, I.
4. Sauer u. Schalch: Über die Verbreitung des Eklogits im südwestlichen Teil des Erzgebirges. N. J. für Min., Geolog. und Paläont. 1884, II.
5. H. Traube: Über ein Vorkommen von Eklogit bei Frankenstein in Schlesien. N. J. für Min., Geolog. und Paläont. 1889, II.
6. Fr. Becke: Die Gneisformation des niederösterreich. Waldviertels. Tscherm. Min.-petr. Mitt. IV, 1882.
7. Sandberger: Zirkon im Eklogit. Würzburger naturwissenschaftliche Zeitschrift. VI.
8. Sauer: Rutil im Eklogit. N. J. für Min., Geolog. und Paläont. 1881, I.
9. Patton: Eklogitartige Gesteine aus der Gegend von Marienbad. Tscherm. Min.-petr. Mitt. IX, 1888.
10. Ippen: Eklogite des Bachergebietes. Mitt. des naturwissenschaftl. Vereines von Steiermark 1892.
11. Teall, Eklogit von Loch Duich, Schottland. Mineralog. Magaz. IX, 1891.
12. Lacroix, Eklogite an Dep. de la Loire infér. Bull. soc. des sc. nat. de l'Ouest de la France. I, 1891.
13. R. Schäfer: Über die metamorphen Gabbrogesteine des Allalingebietes im Wallis. Tscherm. Min.-petr. Mitt. XV, 1895.
14. Barvir, Granatamphibolitgerölle aus der Iglava bei Hrubschitz. Sitz.-Ber. d. böhm. Ges. d. Wiss. 19. Mai 1893.
15. A. Cathrein, Umwandlungen der Granaten in Amphibolschiefern der Tiroler Zentralalpen. Zeitschr. für Krystallogr. und Min. X, 1885.
16. A. Cathrein: Über die Verbreitung der umgewandelten Granaten in den Ötztaler Alpen. N. J. für Min., Geolog. und Paläont. 1886, I.

17. Dathe: Olivinfels, Serpentine und Eklogite des sächs. Granulitgebirges. N. J. f. Min., Geolog. und Paläont. 1876.
18. Schalch: Die Amphibolite von Blatt Peterstal-Reichenbach der geol. Spezialkarte von Baden.
19. Duparc u. Mrazec, Recherches Géologiques et Pétrographiques sur le Massif du Mont Blanc. Genève et Paris. 1898.
20. Sauer: Über einige neue Mineralien und Gesteine aus dem Schwarzwald. Sitz.-Ber. d. 28. Versamml. des oberrhein. geolog. Vereines. Stuttgart 1895.
21. E. Jukowsky: Sur les Eklogites des Aiguilles Rouges. Genève 1902.
22. W. Hammer: Olivingesteine aus dem Nonsberg, Sulzberg und Ultenberg. Zeitschrift für Naturwiss. 72, 1899.
23. A. Lacroix: Le gabbro du Pallet et ses modifications Bull. d. serv. de la carte géol. de la France. 67, 1899.
24. C. Chelius: Die geolog. Verhältnisse bei Lindenfels im Odenwald. Notizblatt des Vereines für Erdkunde. Darmstadt. 16, 1895.
25. C. H. Smigth: Metamorphism of Gabbro, occuring in St. Lawrence County, New York. Americ. Journal of Sc. 151, 1896.
26. S. Franchi: Prasiviti ed anfiboliti sodichi provenienti dalla metamorfosi di rocce diabasiche presso Pegli nelle isole Giglio et Gorgona ed al lapo Argentario. Boll. Soc. Geol. Ital. 15, 1896.
27. A. Verri ed Artini: Le formazioni con ofioliti nell'Umbria e nella Valdichiana. Giornale di mineralogia. 4, 1894.
28. A. Lacroix: Etude minéralogique de la Lherzolite des Pyrénées et ses phénomènes de contact. Nouv. Arch. du Muséum d'Hist. Nat. 6. Paris 1894.
29. L. Duparc et A. Delebecque: Sur les gabbro et les amphibolites du massif de Belledonne. Compt. rend. 118, 1894.
30. J. F. Kemp: Gabbros on the Western Shore of Lake Champlain. Bull. Geol. Soc. of Amer. 5, 1894.
31. Bodmer-Beder: Petrograph. Untersuchung von Steinwerkzeugen und Rohmaterialien aus schweizerischen Pfahlbauten. N. J. für Min., Geolog. und Paläont. Beilageband XVI, 1902.
32. Fr. W. Wiik: Über die Beziehungen zwischen optischen Eigenschaften und chemischer Zusammensetzung bei den Pyroxen- und Amphibol-Arten. Groths Zeitschr. VII, 1882.
33. Paul Michael: Über die Saussurit-Gabbros des Fichtelgebirges. N. J. für Min., Geolog. und Paläont. 1888, I.
34. Th. H. Holland: On the origin and growth of Garnets and their mikropegmatitic intergroth in pyroxenic rocks. Rec. of the Geolog. Surv. of India. 29. 1896.
35. Lehmann: Untersuchung über die Entstehung der altkrystall. Schiefergesteine mit besonderer Bezugnahme auf das sächsische Granulitgebirge, Erzgebirge, Fichtelgebirge und bayr.-böhm. Grenzgebirge. Bonn 1884.
36. Schrauf: Über Kelyphit. N. J. f. Min., Geolog. und Paläont. 1884, II.
37. Mrha: Beiträge zur Kenntnis des Kelyphit. Tscherm. Min.-petr. Mitt. XIX, 1901.
38. S. Franchi: Über Feldspat-Uralitisierung der Natron-Thonerde-Pyroxene aus den eklogitischen Glimmerschiefern der Gebirge von Biella (Graiische Alpen). N. J. f. Min., Geolog. u. Paläont. 1902, II.

39. Rosenbusch: Studien im Gneisgebirge des Schwarzwaldes. II. Kalksilikathornfelse im Reuch- und Kinzigitgneis. Mitt. der großherzogl. bad. geolog. Landesanstalt. IV. Bd., 3. Heft, 1901.
40. Weinschenk: Beiträge zur Systematik der Granatgruppe. Groths Zeitschrift, XXV, 1896.
41. Weinschenk: Mémoire sur le dynamometamorphisme et la Piézocristallisation. Compt. rend. VIII. congr. géol. intern. 1900. Paris 1901.
42. Weinschenk: Die gesteinsbildenden Mineralien. Freiburg i. B. 1901.
43. Van Hise: Metamorphism of Rocks and Rock flowage. Amer. Journ. of Sc. 156, 1898.
44. C. Dölter u. E. Hussak: Über die Einwirkung geschmolzener Magmen auf verschiedene Mineralien. N. J. f. Min., Geolog. u. Paläont. 1884, II.
45. O. Mügge: Über künstliche Zwillingsbildung durch Druck am Antimon, Wismut und Diopsid. N. J. f. Min., Geolog. u. Paläont. 1886, I.
46. Adams u. Nicholson: An experimental investigation into the flow of marble. London 1901.
47. W. R. Schäfer: Der basische Gesteinszug von Ivrea im Gebiet des Mastallone Tales. Tscherm. Min.-petr. Mitt. XVII, 1898.
48. Rosenbusch: Elemente der Gesteinslehre.
49. Zirkel: Lehrbuch der Petrographie.
50. Ippen: Zur Kenntnis einiger archäischer Gesteine des Bachergebietes. Mitt. des naturw. Ver. für Steiermark. 1893.
51. Rosenbusch: Zur Auffassung der chemischen Natur des Grundgebirges. N. J. f. Min., Geolog. u. Paläont. 1892, I.
52. J. Blaas: Pseudomorphose von Feldspat nach Granat. Notiz. Tscherm. Min.-petr. Mitt. IV.
53. Gümbel: Eklogite des Fichtelgebirges. Geognost. Beschreibung des Fichtelgebirges. Gotha 1879.
54. Blum: Mitteilung an Prof. Leonhard. N. J. f. Min., Geolog. u. Paläont. 1869.
55. Fedorow u. Nikitan: Die Mineralien des Bogoslowskschen Bergreviers. Annuaire géol. et minér. de la Russie éd et réd. par N. Krichtafovitsch. 3. Lieferung, VII.
56. Hauer: Pseudomorphosen von Chlorit nach Granat. Jahrb. der geolog. Reichsanstalt. XVI, 4.
57. Penfield u. Sperry: On pseudomorphs of garnet from lake snperior and Salida, Colorado. Am. Journ. of Sc. 1886, XXXIII.
58. Ed. Döll: Hornblende nach Granat, Magnetit nach Granat u. s. w. Verhandlung der k. k. geol. Reichsanstalt. Wien 1898.
59. Sandberger: Kaliglimmer im Eklogit. N. J. f. Min., Geolog. u. Paläont. 1878.
60. Van't Hoff: Vorlesungen über theor. und physikal. Chemie, Braunschweig 1898.
61. Nernst: Theoretische Chemie vom Standpunkt der Avogadroschen Regel und der Thermodynamik. Stuttgart 1900.
62. Brauns: Chemische Mineralogie. Leipzig 1896.
63. Rosenbusch: Mikroskopische Physiographie der petrographisch wichtigen Mineralien. Bd. I. Stuttgart 1892.

64. A. E. Törnebohm: Über die wichtigeren Diabas- und Gabbrogesteine Schwedens. N. J. f. Min., Geolog. u. Paläont. 1877.
65. V. Novarese: Dioriti granitoidi e gneissische della Val savaranche (Alpi Graje). Boll. Com. Geol. Ital. 25, 1894.
66. J. Cheluzzi: Di due roccie a glaucofane dell'isola de Giglio. Rend. Accad. Lincei. Roma. 4, 1895.
67. Geo. H. Williams: The Gabbro and associated Hornblende rocks occuring in the neighbourhood of Baltimore. Bull. of the United States. Geolog. Survey 1886, Nr. 28
68. W. Petersen: Om Routivare järnmamsfält i Norbottenslän. (Geol. fören förh. 15, 1893.)
69. Giov. Gianotti: Aggiunti petrografici sopra alcune roccie del piano del Re. Giornale di mineralogia etc. 3, 1892.
70. Fr. D. Chester: The Gabbros and associated Rocks in Delaware. (Bull. U. St. geol. Survey. Nr 59, 1890.)
71. Pelikan: Eine Pseudomorphose von Granat nach Augit. Sitz.-Ber. des Deutschen naturw.-mediz. Vereines für Böhmen „Lotos". 1899, Nr. 8.

Inhalt.

Einleitung.

I. Eklogite. Seite

1. Makroskopischer Habitus 5
2. Mineralbestand 9
   a) Omphazit 9
   b) Granat 21
   c) Hornblende 24
   d) Rutil 25
   e) Erze 27
   f) Disthen 27
   g) Biotit 28
   h) Plagioklas 28
   i) Zoisit-Epidot 28
   k) Quarz 29
3. Krystalloblastische Reihe der Eklogitkomponenten 29
4. Chemismus des Eklogits 29
5. Entstehung des Eklogits 31

II. Eklogit-Amphibolite.

A. Typus I.

1. Vorkommen 36
2. Makroskopischer Habitus 37
3. Mikroskopischer Habitus 37
4. Mineralbestand.
   a) Hornblende 38
   b) Pyroxen 40

Seite
c) Granat 42
d) Plagioklas 47
e) Quarz 47
f) Zoisit 47
g) Epidot 48
h) Rutil und Erze 48
i) Glimmer 48
5. Krystalloblastische Reihe des Typus I 49
6. Chemismus von Typus I 49
7. Bildungsbedingungen von Typus I 50
B. Typus II.
1. Übergänge zwischen Typus I und II 51
2. Makroskopischer Habitus 51
3. Mineralbestand 52
a) Hornblende 52
b) Granat 54
c) Akzessorien 55
4. Krystalloblastische Reihe von Typus II 55
5. Chemismus von Typus II 55
6. Bildungsbedingungen von Typus II 56
7. Gesteine anderer Lokalitäten von Typus II 57
C. Uralitisierung und Beziehung zwischen Amphibol und Pyroxen in Pyroxenamphiboliten 59
III. Kelyphit-Amphibolite.
1. Vorkommen 62
2. Vergleich mit Typus I und II der Eklogit-Amphiboliten 63
3. Makroskopischer Habitus 64
4. Mineralbestand 64
a) Hornblende 64
b) Granat 66
α) Kelyphit 66
β) Andere Umwandlungsprodukte des Granats 69
c) Plagioklas 71
d) Pyroxen 71
e) Biotit 72
f) Quarz 72
g) Apatit 72
h) Epidot und Zoisit 72
i) Rutil und Titanit 72
k) Erze 73
5. Chemismus des Kelyphitamphibolits 73
6. Entstehung des Kelyphitamphibolits 74
7. Kelyphitamphibolite anderer Lokalitäten 74
a) Vom Mont Blanc 74
b) Vom Schwarzwalde 76

Seite

IV. Gewöhnliche Amphibolite.

1. Strukturformen und makroskopischer Habitus 77
   a) Gewöhnliche Amphibolite mit echter Gabbrostruktur 78
      α) Aus dem Ötztal 79
      β) Aus dem Mont Blanc-Gebiet 80
      γ) Aus dem Schwarzwald 81
   b) Schieferige Varietäten der Amphibolite mit Gabbrostruktur . . . 82
   c) Amphibolite mit verwischter Gabbrostruktur 83
      α) Aus dem Profil Sölden 83
      β) Vom Burgstein 87
      γ) Von Umhausen 90
      δ) Amphibolite höherer Horizonte 95
2. Krystalloblastische Reihe der gewöhnlichen Amphibolite 97
3. Bildungsbedingungen der gewöhnlichen Amphibolite 97
4. Chemismus 99

V. Resultate 103

Erklärung der Photographien 104

Literaturverzeichnis 105

Druck von Gottlieb Gistel & Cie., Wien, III., Münzgasse 6.

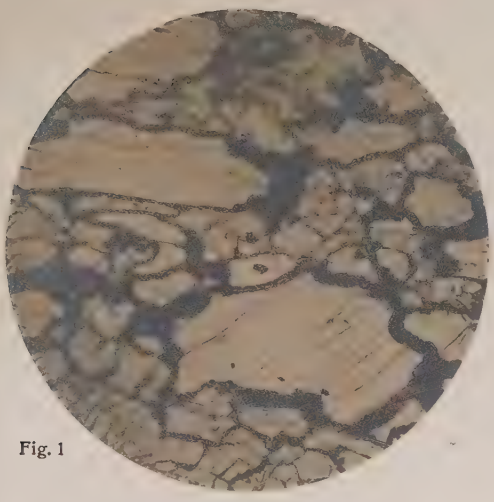


Fig. 1

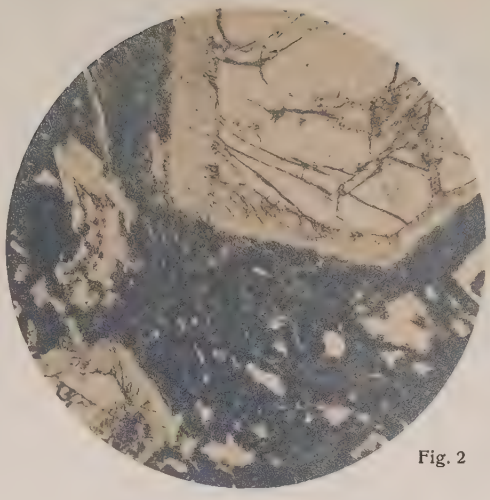


Fig. 2

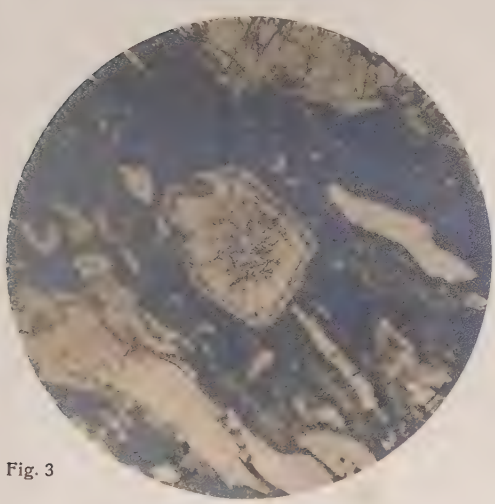


Fig. 3

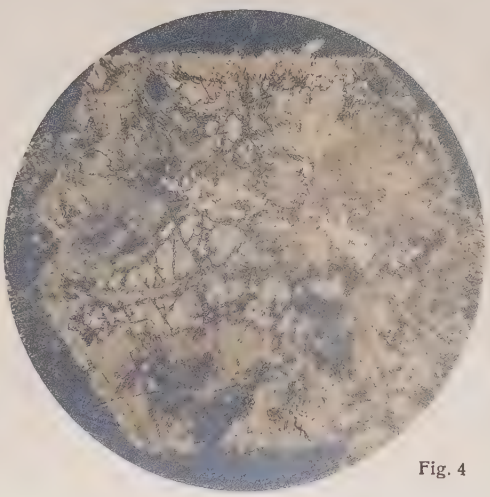


Fig. 4

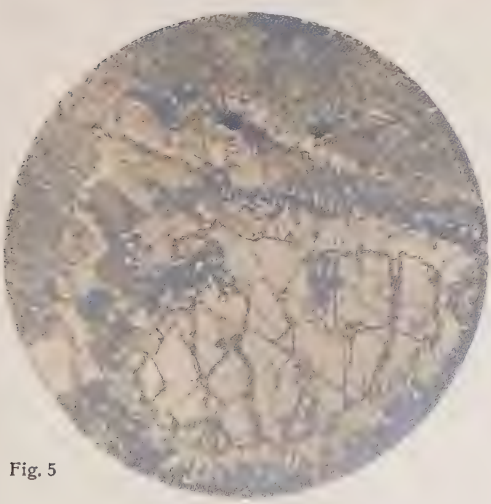


Fig. 5

Fig. 6

Tschermaks Mineralog. & Petrograph. Mitteilungen
Bd. XXII Heft 5

Verlag von Alfred Hölder, K. u. K. Univers. Buchhandlg., Wien 1903

Maschinendruck, Wädensweil

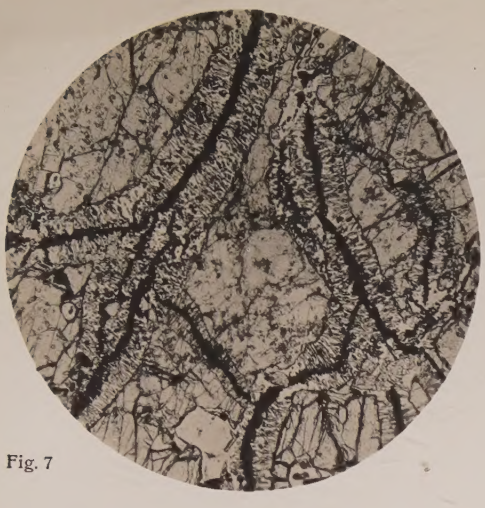


Fig. 7

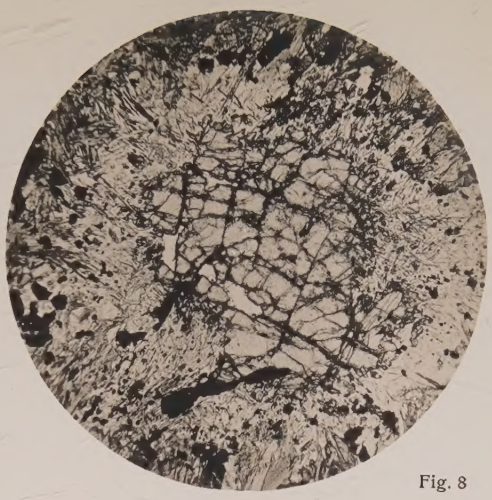


Fig. 8

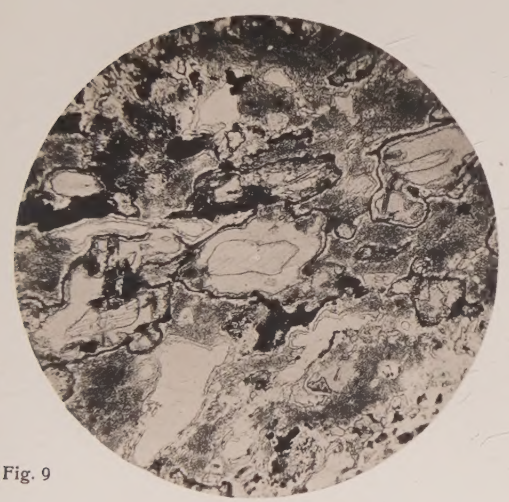


Fig. 9

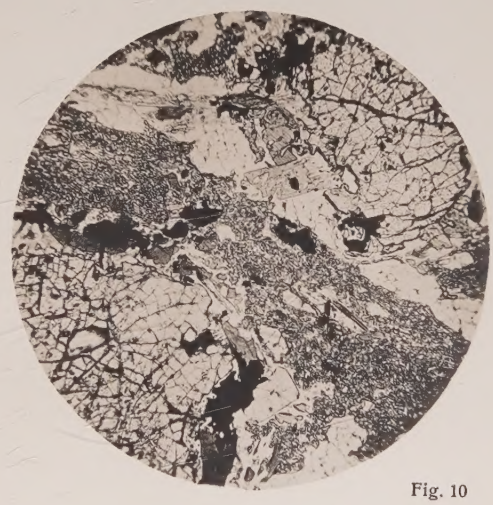


Fig. 10

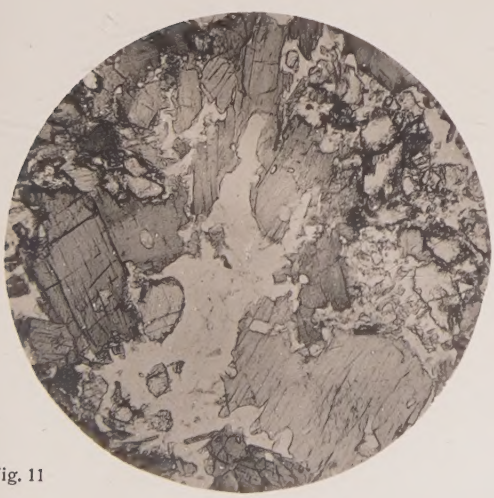


Fig. 11

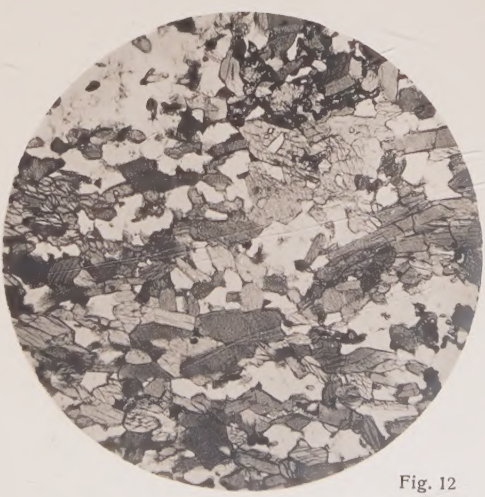


Fig. 12

Tschermaks Mineralog. & Petrograph. Mitteilungen
Bd. XXII Heft 5

Verlag von Alfred Hölder, K. u. K. Univers. Buchhandlg., Wien 1903

Maschinendruck, Wädenswil

Druck von Gottlieb Gistel & Cie. in Wien.